

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

## **ZAVRŠNI RAD**

Renato Kolar

Zagreb, 2010

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

## **ZAVRŠNI RAD**

### **Multiplikator za pogon brodskih propelera**

(Multiplier for the operation of marine propellers)

Mentor:  
prof.dr.sc. Branimir Pavić

Renato Kolar

Zagreb, 2010

## Tekst zadatka rada

Opis zadatka:

Potrebno je konstrukcijski i proračunski razraditi multiplikator za pogon brodskih propelera (s dva izlazna vratila). Kućište multiplikatora izrađeno je u lijevanoj izvedbi.

Relevantni podaci:

- Snaga na ulaznom vratilu je 30 kW
- Ulazni broj okretaja iznosi  $450 \text{ min}^{-1}$
- Izlazni broj okretaja iznosi  $2407 \text{ min}^{-1}$

U okviru zadatka potrebno je:

- Izraditi montažni crtež sklopa i izvedbeni crtež kućišta
- Radionički crtež vratila i zupčanika

Napomena:

Jedno od vratila osim spojke za priključak propelera mora imati izlaz za priključak remenice za pogon elektroagregata (dvostruki izlaz na kućištu)

## Sažetak rada

U ovome radu opisan je proces projektiranja i konstruiranja multiplikatora prema nekim tipičnim ulaznim parametrima. Tip multiplikatora koji je razrađen u ovom radu, a koji se koristi za pogon brodskih propelera, ima dodatan zahtjev za dva izlazna vratila te dodatak za remenicu koja pogoni elektroagregat. Prvi korak kod projektiranja je izrada proračuna uz neke nezaobilazne skice. Nakon proračuna slijedi modeliranje proračunatih dijelova kao što su zupčanici i vratila. Iza toga slijedi analiziranje i implementiranje standardih dijelova u model multiplikatora kao što su ležajevi i slično. Na kraju slijedi modeliranje kućišta. Nakon gotovog modela izrađujemo crteže tj. tehničku dokumentaciju.

Za izradu modela koristio sam alat za modeliranje Pro/ENGINEER Wildfire 4.0, dok sam kod izrade dokumentacije uz Pro/ENGINEER koristio i alat AutoCAD 2008.

## SADRŽAJ

Tekst zadatka rada .....	1
Sažetak rada .....	2
Popis slika i tablica .....	4
Proračun .....	6
Proračun zupčanika .....	6
Odabir modula zupčanika .....	6
Pomak profila .....	7
Dimenzije zupčanika u odnosu na korekcijske faktore .....	8
Ostvarivanje potrebne bočne zračnosti primicanjem alata .....	9
Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje na savijanje u korijenu zuba .....	13
Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka .....	15
Odabir materijala većeg zupčanika .....	16
Kontrolni proračun u odnosu na dozvoljenu temperaturu zagrijavanja .....	17
Dimenzioniranje i proračun vratila .....	18
Ulazno vratilo $V_1$ .....	18
Izlazno vratilo $V_2$ .....	26
Izlazno vratilo $V_3$ .....	34
Odabir pera .....	35
Odabir ležajeva (Prema SKF-u) .....	36
Osiguranje aksijalnih pomaka ležaja .....	38
Odabir brtvi .....	39
Odabir elementa za dizanje multiplikatora .....	40
Odabir odzračnika .....	40
Model Multiplikatora .....	41
Prilog .....	42
Zaključak .....	43
Popis literature .....	44

## Popis slika

Slika 1: Tangencijalna sila .....	13
Slika 2: Okvirne dimenzije kućišta.....	17
Slika 3: Skica vratila .....	18
Slika 4: Dispozicija sila na vratilu 1 .....	18
Slika 5: Konačni oblik vratila 1.....	21
Slika 6: Skica vratila 2 .....	26
Slika 7: Dispozicija sila na vratilu 2.....	26
Slika 8: Konačni oblik vratila 2.....	29
Slika 9. Oblik pera .....	35
Slika 10: Ležaj NUP212.....	36
Slika 11: Ležaj NU212 .....	36
Slika 12: Ležaj NUP206.....	37
Slika 13: Ležaj NU206 .....	37
Slika 14: Vanjski prstenasti uskočnik.....	38
Slika 15: Unutarnji prstenasti uskočnik.....	38
Slika16: Brtva Trelleborg TRD .....	39
Slika 17: Okasti vijak.....	40
Slika 18: Odzračnik.....	40
Slika 19: Model multiplikatora.....	41

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, svojim znanjem, te uz pomoć mentora i navedene literature.*

*Renato Kolar*

**Zahvala:**

*Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Branimiru Paviću na razumijevanju, podršci i korisnim savjetima.*

## Proračun

### Proračun zupčanika

#### Odabir modula zupčanika

Zbog hidrodinamičkih uvjeta pogona, te u dogovoru sa mentorom odabirem razmak između izlaznih vratila  $2a=500$  mm. Dakle, razmak između pojedinih vratila iznosi  $a=250$  mm.

S obzirom na zadani osni razmak modul izračunavamo prema formuli:

$$a_w = \frac{m_n}{\cos\beta} \cdot \frac{z_1 + z_2}{2}$$

$$\Rightarrow m_n = \frac{a_w \cdot \cos\beta \cdot 2}{z_1 + z_2}$$

Broj zubi manjeg zupčanika ( $z_2$ ) odabirem iz tablice 6.3 [4]

$$z_2 = 28 \text{ zubi}$$

$$i' = \frac{n_{ul}}{n_{izl}} = \frac{450}{2407} = 0,187$$

$$z_1 = \frac{z_2}{i} = \frac{28}{0,187} = 150 \text{ zubi}$$

Novi prijenosni omjer:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = 0,1867$$

$$\frac{i' - i}{i'} = \frac{0,0003}{0,187} = 0,0016 < 2\% \text{ ZADOVOLJAVA!}$$

$$m_n = \frac{a_w \cdot \cos\beta \cdot 2}{z_1 + z_2} = \frac{250 \cdot \cos 12^\circ \cdot 2}{28 + 150} = \frac{489,07}{178} = 2,748 \text{ mm}$$

Odabran modul II. Prioriteta:

$$m_n = 2,75 \text{ mm}$$



## Pomak profila

Da bi predosti zupčanika s kosim zubima bile potpuno iskorištene,  $\varepsilon_\beta$  mora biti cijeli broj. Pa prema tome kut nagiba boka iznosi:

$$\beta = 12^\circ \text{ (za } \varepsilon_\beta = 2, \frac{b}{m} = 30) \text{ ...odabran iz dijagrama 229.1 [1]}$$

$$d_1 = \frac{z_1 \cdot m_n}{\cos \beta} = \frac{150 \cdot 2,75}{\cos 12} = 421,779 \text{ mm}$$

$$d_2 = \frac{z_2 \cdot m_n}{\cos \beta} = \frac{28 \cdot 2,75}{\cos 12} = 78,732 \text{ mm}$$

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{421,779 + 78,732}{2} = 250,255 \text{ mm}$$

$$|a - a_w| \leq m_n \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

## Faktori pomaka profila

$$x_1 + x_2 = \frac{(z_1 + z_2) \cdot (\operatorname{ev} \alpha_{tw} - \operatorname{ev} \alpha_t)}{2 \tan \alpha_n}$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 12^\circ} = 0,3722$$

$$\alpha_t = 20,415^\circ \rightarrow 20^\circ 24' 53''$$

$$\cos \alpha_{tw} = \frac{m_n(z_1 + z_2)}{2 \cdot a_w} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \beta} = \frac{2,75 \cdot (150 + 28)}{2 \cdot 250} \cdot \frac{\cos 20,415^\circ}{\cos 12^\circ}$$

$$\cos \alpha_{tw} = 0,93815$$

$$\alpha_{tw} = 20,257^\circ \rightarrow 20^\circ 15' 25''$$

$$x_1 + x_2 = \frac{(150 + 28) \cdot (\operatorname{ev} 20,257^\circ - \operatorname{ev} 20,415^\circ)}{2 \cdot \tan 20^\circ} = -0,0975 \text{ mm}$$

Iz dijagrama 74.1 [1] odabiremo faktore pomaka za pojedini zupčanik.

$$\frac{z_1 + z_2}{2} = 89$$

$$x_1 = -0,35$$

$$x_2 = +0,25$$

## Dimenzije zupčanika u odnosu na korekcijske faktore

### Zupčanik 1

Diobeni promjer  $d_1 = 421,779 \text{ mm}$

Tjemeni promjer  $d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n + 2 \cdot x_1 \cdot m_n$   
 $d_{a1} = 421,779 + 2 \cdot 2,75 + 2 \cdot (-0,35) \cdot 2,75$   
 $d_{a1} = 425,354 \text{ mm}$

Kinematski promjer  $d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{tw}} = 421,779 \cdot \frac{\cos 20,415^\circ}{\cos 20,257^\circ}$   
 $d_{w1} = 421,357 \text{ mm}$

Podnožni promjer  $d_{f1} = d_1 - 2 \cdot m_n - 2 \cdot c + 2 \cdot x_1 \cdot m_n$   
 $d_{f1} = 421,779 - 2 \cdot 2,75 - 2 \cdot 0,6875 + 2 \cdot x_1 \cdot m_n$   
 $d_{f1} = 412,979 \text{ mm}$

Potrebna zračnost prema ISO preporuci:

$$c = 0,25 \cdot m_n = 0,25 \cdot 2,75 = 0,6875 \text{ mm}$$

Promjer temeljne kružnice  $d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha_t = 421,779 \cdot \cos 20,415^\circ$   
 $d_{b1} = 395,291 \text{ mm}$

### Zupčanik 2

Diobeni promjer  $d_2 = 78,732 \text{ mm}$

Tjemeni promjer  $d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n + 2 \cdot x_2 \cdot m_n$   
 $d_{a2} = 78,732 + 2 \cdot 2,75 + 2 \cdot 0,25 \cdot 2,75$   
 $d_{a2} = 85,607 \text{ mm}$

Kinematski promjer  $d_{w2} = d_2 \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{tw}} = 78,732 \cdot \frac{\cos 20,415^\circ}{\cos 20,257^\circ}$   
 $d_{w2} = 78,653 \text{ mm}$

Podnožni promjer  $d_{f2} = d_2 - 2 \cdot m_n - 2 \cdot c + 2 \cdot x_2 \cdot m_n$   
 $d_{f2} = 78,732 - 2 \cdot 2,75 - 2 \cdot 0,6875 + 2 \cdot 0,25 \cdot 2,75$   
 $d_{f2} = 73,232 \text{ mm}$

Promjer temeljne kružnice  $d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha_t = 78,732 \cdot \cos 20,415^\circ$   
 $d_{b2} = 73,787 \text{ mm}$

### Kontrola tjemene zračnosti

$$c = a_w - \frac{d_{a1} + d_{f2}}{2} = 250 - \frac{425,354 + 73,232}{2} = 0,707 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 0,12 \cdot m_n = 0,12 \cdot 2,75 = 0,33 \text{ mm}$$

$$c > c_{min} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

### Ostvarivanje potrebne bočne zračnosti primicanjem alata

Nazivna mjera preko nekoliko zubi za kontrolu graničnih odstupanja za zupčanik 1

$$w_1 = m_t \cdot \cos \alpha_t \cdot [\pi \cdot (z_{w1} - 0,5) + z_1 \cdot \text{ev} \alpha_t + 2 \cdot x_1 \cdot \text{tg} \alpha_t]$$

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{2,75}{\cos 12} = 2,81 \text{ mm}$$

$$w_1 = 2,81 \cdot \cos 20,415 \cdot [\pi \cdot (19 - 0,5) + 150 \cdot \text{ev} 20,415 + 2 \cdot (-0,35) \cdot \text{tg} 20,415]$$

$$w_1 = 158,65 \text{ mm}$$

$$\text{tg} \alpha_{x1} = \sqrt{\text{tg}^2 \alpha_t + \frac{4 \cdot \left(\frac{x_1}{z_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{x_1}{z_1}\right)}{\cos \alpha_t}}$$

$$\alpha_t = 20,415^\circ$$

$$\text{tg} \alpha_{x1} = \sqrt{\text{tg}^2 20,415 + \frac{4 \cdot \left(\frac{-0,35}{150}\right) \cdot \left(1 + \frac{-0,35}{150}\right)}{\cos 20,415}}$$

$$\text{tg} \alpha_{x1} = \sqrt{0,1485} = 0,3853$$

$$z_{w1} = \frac{z_1}{\pi} \cdot (\text{tg} \alpha_{x1} - \text{ev} \alpha_t) - \frac{2 \cdot x_1 \cdot \text{tg} \alpha_t}{\pi} + 0,5$$

$$z_{w1} = \frac{150}{\pi} \cdot (0,3853 - \text{ev} 20,415) - \frac{2 \cdot (-0,35) \cdot \text{tg} 20,415}{\pi} + 0,5$$

$$z_{w1} = 18,22 \Rightarrow 19$$

Nazivna mjera preko nekoliko zubi za kontrolu graničnih odstupanja za zupčanik 2

$$w_2 = m_t \cdot \cos \alpha_t \cdot [\pi \cdot (z_{w2} - 0,5) + z_2 \cdot \text{ev} \alpha_t + 2 \cdot x_2 \cdot \text{tg} \alpha_t]$$

$$w_2 = 2,81 \cdot \cos 20,415 \cdot [\pi \cdot (5 - 0,5) + 28 \cdot \text{ev} 20,415 + 2 \cdot 0,25 \cdot \text{tg} 20,415]$$

$$w_2 = 38,89 \text{ mm}$$

$$\text{tg} \alpha_{x2} = \sqrt{\text{tg}^2 \alpha_t + \frac{4 \cdot \left(\frac{x_2}{z_2}\right) \cdot \left(1 + \frac{x_2}{z_2}\right)}{\cos \alpha_t}}$$

$$\alpha_t = 20,415^\circ$$

$$tg\alpha_{x2} = \sqrt{tg^2 20,415 + \frac{4 \cdot \left(\frac{0,25}{28}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,25}{28}\right)}{\cos 20,415}}$$

$$tg\alpha_{x2} = \sqrt{0,177} = 0,421$$

$$z_{w2} = \frac{z_2}{\pi} \cdot (tg\alpha_{x2} - ev\alpha_t) - \frac{2 \cdot x_2 \cdot tg\alpha_t}{\pi} + 0,5$$

$$z_{w2} = \frac{28}{\pi} \cdot (0,421 - ev20,415) - \frac{2 \cdot 0,25 \cdot tg20,415}{\pi} + 0,5$$

$$z_{w2} = 4,051 \Rightarrow 5$$

Izbor kružne zračnosti (prema HRN M.C1.031)

$$\text{Za } m_n = 2,75 \quad j_{max} = 155 \mu m$$

$$j_{min} = 90 \mu m$$

Izbor graničnih odstupanja razmaka osi vratila

Obodna brzina zupčanika

$$v_{ob} = \omega_2 \cdot r_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_{izl} \cdot r_2 = 2 \cdot \pi \cdot 40,12 \cdot 0,039 = 9,83 \frac{m}{s}$$

Odabrana kvaliteta zupčanika 7.

$$A_{a,g,d} = \pm 36 \mu m$$

$$a = a \pm A_{a,g,d} = 250 \pm 0,036 mm$$

Granična odstupanja debljine zubi uz odabranu kružnu zračnost i granična odstupanja razmaka osi vratila.

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = (j_{max} \cdot \cos\alpha_n - 2 \cdot A_{a,g} \cdot \sin\alpha_{nw}) \cdot \cos\beta_b$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$\tan\alpha_{nw} = \tan\alpha_{tw} \cdot \cos\beta = \tan 20,557 \cdot \cos 12^\circ$$

$$\tan\alpha_{nw} = 0,361$$

$$\alpha_{nw} = 19,85^\circ$$

$$\tan\beta_b = \frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}} \cdot \tan\beta = \frac{\cos 20,415}{\cos 20,257} \cdot \tan 12^\circ$$

$$\tan\beta_b = 0,21233$$

$$\beta_b = 11,987^\circ$$

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = (155 \cdot \cos 20^\circ - 2 \cdot 36 \cdot \sin 19,85^\circ) \cdot \cos 11,987^\circ$$

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = 118,534 \mu m$$

$$-(A_{w1,g} + A_{w2,g}) = (j_{min} \cdot \cos \alpha_n - 2 \cdot A_{a,d} \cdot \sin \alpha_{nw}) \cdot \cos \beta_b$$

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = (90 \cdot \cos 20^\circ - 2 \cdot (-36) \cdot \sin 19,85^\circ) \cdot \cos 11,987^\circ$$

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = 106,62 \mu m$$

Odabir graničnih odstupanja (tolerancije) mjere preko nekoliko zubi

$$\text{Za } m_n = 2,75 \text{ mm}, d_1 = 421,779 \text{ mm}, d_2 = 78,732 \text{ mm}, \text{Kvaliteta } 7$$

$$\text{Z1: } A_{w1,g} = -108 \mu m (e) \quad A_{w2,g} = -64 \mu m (f)$$

$$\text{Z2: } A_{w1,d} = -144 \mu m (d) \quad A_{w2,d} = -96 \mu m (e)$$

Radi izbjegavanja zaglavljivanja zuba o zub zupčanika u zahvatu, mora biti ispunjen uvijet:

$$j_{min} > 2 \cdot (T_{i1}'' + T_{i2}'') \cdot \operatorname{tg} \alpha_{nw}$$

It tablice 5. [6], odabiremo dozvoljena odstupanja  $T_{i1,2}''$  prema HRN M.C1.034

$$\text{Za } m_n = 2,75 \text{ mm}; d_1 = 421,779 \text{ mm} \Rightarrow T_{i1}'' = 92 \mu m$$

$$\text{Za } m_n = 2,75 \text{ mm}; d_2 = 78,732 \text{ mm} \Rightarrow T_{i2}'' = 79 \mu m$$

$$j_{min} > 2 \cdot (92 + 79) \cdot \operatorname{tg} 19,85^\circ = 123,46 \mu m$$

Kontrola:

$$j_{min} = -\frac{(A_{w1,g} + A_{w2,g})}{\cos \alpha_n \cdot \cos \beta_b} + 2 \cdot A_{a,d} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{nw}$$

$$j_{min} = -\frac{(-108 - 64)}{\cos 20^\circ \cdot \cos 11,987^\circ} + 2 \cdot (-36) \cdot \operatorname{tg} 19,85^\circ$$

$$j_{min} = 161,13 \mu m > 123,46 \mu m \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

$$j_{min} = -\frac{(A_{w1,d} + A_{w2,d})}{\cos \alpha_n \cdot \cos \beta_b} + 2 \cdot A_{a,g} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{nw}$$

$$j_{min} = -\frac{(-144 - 96)}{\cos 20^\circ \cdot \cos 11,987^\circ} + 2 \cdot 36 \cdot \operatorname{tg} 19,85^\circ$$

$$j_{min} = 287,1 \mu m > 123,46 \mu m \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Srednja vrijednost kružne zračnosti

$$j = (161 + 287) \cdot 0,5 = 224 \mu m$$

Za tu zračnost alat se mora primaknuti zubu za radijalnu veličinu kružne zračnosti

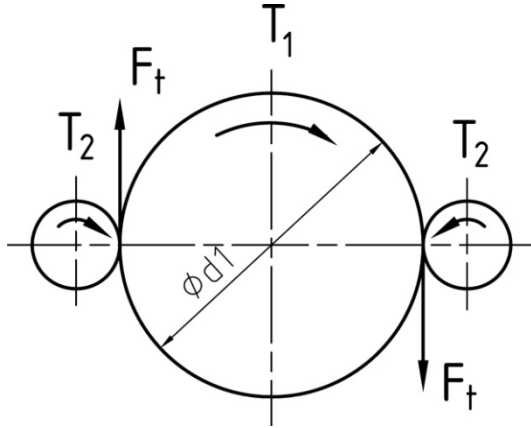
$$j_r' = \frac{j}{4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_w} = \frac{224}{4 \cdot \operatorname{tg} 19,85^\circ} = 155,125 \mu m$$

Razmakom osi vratila i odstupanjima  $A_{w1g,d}$  i  $A_{w2g,d}$  bit će ostvarena srednja kružna zračnost

$$j_r = 2 \cdot j'_r = 2 \cdot 155,125 = 310 \mu m$$

## Kontrola u odnosu na dozvoljeno naprezanje na savijanje u korijenu zuba

$$\sigma_{F2} = \frac{F_t}{b \cdot m_n} \cdot Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \leq \sigma_{FP2}$$



Slika 1. Tangencijalna sila

$$F_t = \frac{T_{1max}}{d_1} = \frac{954,93}{0,422} = 2262,87 \text{ N}$$

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{30000}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{30000}{2 \cdot \pi \cdot 7,5} = 636,62 \text{ Nm}$$

$$T_{1max} = T_1 \cdot K_A = 636,62 \cdot 1,5 = 954,93 \text{ Nm}$$

$$K_A = 1,5 \quad \dots \text{iz [1], tabl. 130.1}$$

$$b = \lambda \cdot m_n = 30 \cdot 2,75 = 82,5 \text{ mm}$$

$$\lambda = 30 \quad \dots \text{iz [1], tabl. 197.1}$$

$$Y_{F2} = f(z_1 = 28, x_1 = +0,25, \beta = 12^\circ) = 2,88$$

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha 2}} = \frac{1}{1,607} = 0,622$$

$$\varepsilon_{K1} = \varepsilon'_{K1} \cdot \frac{z_1}{z_{K1}} = 0,92 \cdot \frac{150}{210,84} = 0,654$$

$$z_{K1} = \frac{2 \cdot d_{w1}}{d_{ak1} - d_{w1}} = \frac{2 \cdot 421,357}{425,354 - 421,357} = 210,84$$

$$\varepsilon'_{K1} = f(\alpha_{tw} = 20,257^\circ, z_{K1} = 210,84) = 0,92$$

$$\varepsilon_{K2} = \varepsilon'_{K2} \cdot \frac{z_2}{z_{K2}} = 0,77 \cdot \frac{28}{22,62} = 0,953$$

$$z_{K2} = \frac{2 \cdot d_{w2}}{d_{ak2} - d_{w2}} = \frac{2 \cdot 78,653}{85,607 - 78,653} = 22,62$$

$$\varepsilon'_{K2} = f(\alpha_{tw} = 20,257^\circ, z_{K2} = 22,62) = 0,77$$

$$\varepsilon_{\alpha 2} = \varepsilon_{K1} + \varepsilon_{K2} = 0,654 + 0,953 = 1,607$$

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \cdot \frac{\beta}{120^\circ} = 1 - 2 \cdot \frac{12}{120} = 0,8$$

$$K_{F\alpha} = q_L \cdot \varepsilon_{\alpha 2} = 1 \cdot 1,607 = 1,607$$

$$q_{L2} = f(d_{w2}, m_n, \text{kvalit. } 7, \frac{F_{tw}}{b} = 33) \quad \dots \text{iz [1]}$$

$$q_{L2} = 1$$

$$K_{F\beta} = 1$$

$$\sigma_{F2} = \frac{2262,87}{82,5 \cdot 2,75} \cdot 2,88 \cdot 0,622 \cdot 0,8 \cdot 1,607 \cdot 1$$

$$\sigma_{F2} = 22,97 \frac{N}{mm^2}$$

Materijal zupčanika **42CrMo4** (Č.4732), **plameno kaljen**

$$\sigma_{FP2} = \frac{\sigma_{Flim}}{S_{F2}} = \frac{350}{2} = 175 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{Flim} = 350 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_{F2} = 2 \quad \dots \text{iz [6], tablica 36.}$$

$$\sigma_{F2} < \sigma_{FP2} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$



**Kontrola u odnosu na dozvoljenu čvrstoću boka**

$$\sigma_{H2} = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{F_{tmax}}{b \cdot d_2} \cdot \frac{u+1}{u} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}} \leq \sigma_{HP}$$

$$F_{tmax} = 2262,87 \text{ N}$$

$$b = 82,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = 78,732 \text{ mm}$$

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{28}{150} = 0,186\dot{6}$$

$$Z_M = 189,5 \sqrt{N/mm^2} \quad \dots \text{iz [1]}$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha_t} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos \beta_b}{\tan \alpha_{tw}}} = \frac{1}{\cos 20,415} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos 11,987}{\tan 20,257}}$$

$$Z_H = 2,45 \quad \dots \text{iz [1]}$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha} \cdot \cos \beta_b} = \sqrt{\frac{1}{1,607} \cdot \cos 11,987}$$

$$Z_\varepsilon = 0,78 \quad \dots \text{iz [1]}$$

$$K_{H\alpha} = 1 + 2 \cdot (q_L - 0,5) \cdot \left( \frac{1}{Z_\varepsilon^2} - 1 \right)$$

$$\text{Za } q_L = 1$$

$$K_{H\alpha} = \frac{1}{Z_\varepsilon^2} = \frac{1}{0,78^2} = 1,644$$

$$K_{H\beta} = 1$$

$$\sigma_{H2} = 189,5 \cdot 2,45 \cdot 0,78 \cdot \sqrt{\frac{2262,87}{82,5 \cdot 78,732} \cdot \frac{1,186}{0,186} \cdot 1,644 \cdot 1}$$

$$\sigma_{H2} = 691 \frac{N}{mm^2}$$

Materijal zupčanika **42CrMo4** (Č.4732), **plameno kaljen**

$$S_{H2} = \frac{\sigma_{Hlim}}{\sigma_{H2}} = \frac{1360}{691} = 1,968$$

$$\sigma_{Hlim} = 1360 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_{Hpotr} = 1,5 \quad \dots \text{iz [6], tablica 36.}$$

$$S_{H2} > S_{Hpotr} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

**Odabir materijala većeg zupčanika ( $Z_1$ )**

$$\sigma_{Hlim} > \sigma_H \cdot S_H = 691 \cdot 1,3 = 898,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_H = 1,3$$

Najbliža vrijednost **C45E (Č.1531), plameno kaljen**

$$\sigma_{Hlim} = 1100 \frac{N}{mm^2}$$

## Kontrolni proračun u odnosu na dozvoljenu temperaturu zagrijavanja

Toplina koja je nastala uslijed gubitaka u multiplikatoru odvodi se prirodnim putem odnosno isijavanjem.

$$\Phi = \Phi_{\text{odv}} = \alpha_s \cdot A \cdot (t_u - t_z)$$

$\Phi$ ...proizvedena toplina

$\Phi_{\text{odv}}$ ...odvedena toplina

Temperatura ulja:

$$t_u = \frac{\Phi}{\alpha_s \cdot A} + t_z$$

Ukupni gubici u multiplikatoru

$$P_{gM} = P_{gVL} \cdot 3 + P_{g2} \cdot 2 + P_{gBB}$$

$P_{gVL} = 0,25\%$ ...gubici u ležajevima po vratilu

$P_{g2} = 0,5\%$  ...gubici u zahvatu zupčanika

$P_{gBB} = 1\%$  ...gubici uslijed bućkanja ulja i brtvi

$$P_{gM} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,5 + 1 = 2,75\%$$

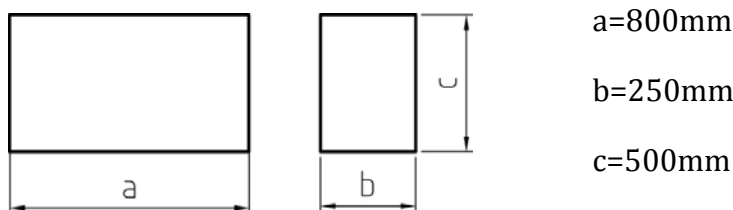
$$P_{gM}' = P \cdot P_{gM} = 30 \cdot 0,0275 = 0,825 \text{ kW}$$

$$\Phi = P_{gM}' \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 2970 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\alpha_s = 90 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{hK}} \text{...koeficijent prijelaza topline kod isijavanja}$$

$$t_z = 20^\circ\text{C} \quad \text{...temperatura zraka po HRN M.C1.031}$$

Okvirne dimenzije multiplikatora



Slika 2. Okvirne dimenzije kućišta

$$A = 2 \cdot (a \cdot c + a \cdot b + b \cdot c) = 2 \cdot (0,8 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot 0,5)$$

$$A = 1,45 \text{ m}^2$$

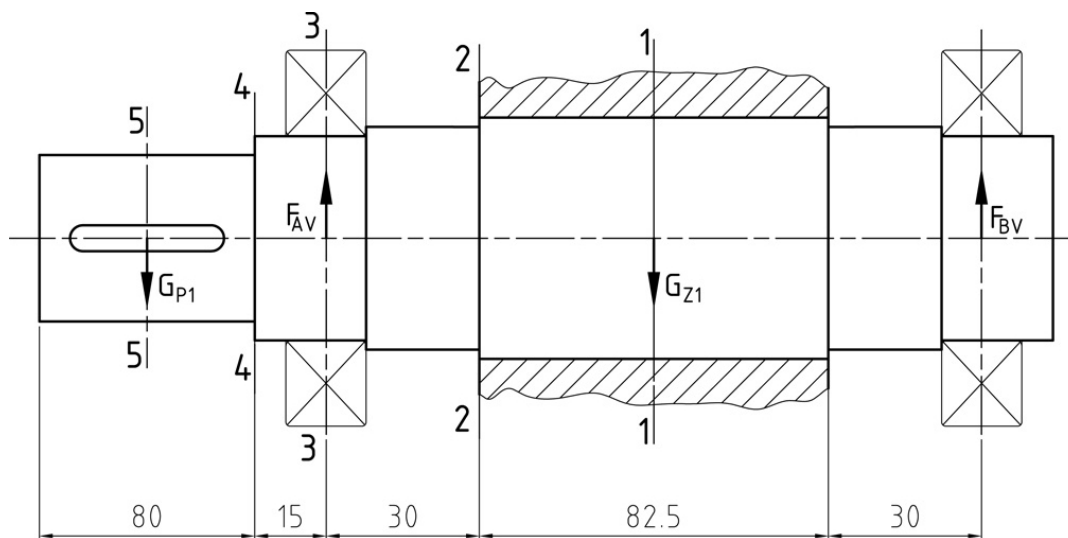
$$t_u = \frac{\Phi}{\alpha_s \cdot A} + t_z = \frac{2970}{90 \cdot 1,45} + 20^\circ = 35^\circ$$

$$t_{\text{max}} = 60^\circ\text{C}$$

$$t_u < t_{\text{max}} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

## Dimenzioniranje i proračun vratila

### Ulazno vratilo V<sub>1</sub>



Slika 3. Skica vratila 1

#### Sile na vratilu

Težina zupčanika  $G_z = 500 \text{ N}$

Težina prirubnice  $G_p = 100 \text{ N}$

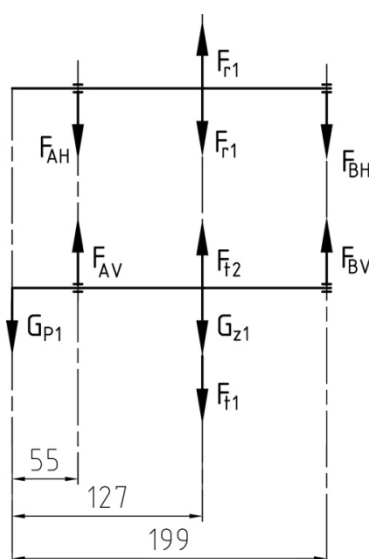
Obodna sila na kinematskoj kružnici  $F_t = 2263 \text{ N}$

Radijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_{tw} = 2263 \cdot \tan 20,257^\circ = 835,2 \text{ N}$$

Aksijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 2263 \cdot \tan 12^\circ = 481 \text{ N}$$



Slika 4. Dispozicija sila na vratilu 1

Reakcije u horizontalnoj ravnini

$$F_{AH} = 0$$

$$F_{BH} = 0$$

Reakcije u vertikalnoj ravnini

$$\begin{aligned}\sum M_A = 0 \quad & G_P \cdot 55 - G_Z \cdot 72 + F_{BV} \cdot 144 = 0 \\ & 144 \cdot F_{BV} = -100 \cdot 55 + 500 \cdot 72 \\ & F_{BV} = 212 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_V = 0 \quad & -G_P - G_Z + F_{AV} + F_{BV} = 0 \\ & F_{AV} = G_P + G_Z - F_{BV} = 100 + 500 - 212 \\ & F_{AV} = 388 \text{ N}\end{aligned}$$

### Promjeri pojedinih stupnjeva

Momenti savijanja u presjecima

$$\begin{aligned}M_1 &= G_P \cdot 0,126 - F_{AV} \cdot 0,0713 = 100 \cdot 0,126 - 388 \cdot 0,0713 \\ &M_1 = -15,1 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 &= G_P \cdot 0,085 - F_{AV} \cdot 0,030 = 100 \cdot 0,085 - 388 \cdot 0,030 \\ &M_2 = -3,14 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$M_3 = G_P \cdot 0,055 = 100 \cdot 0,055 = 5,5 \text{ Nm}$$

$$M_4 = G_P \cdot 0,040 = 100 \cdot 0,040 = 4 \text{ Nm}$$

Reducirani momenti u pojedinim presjecima

Maximalni moment na prvom vratilu

$$T_{V1} = \frac{T_{1max}}{\eta_{VL}} = \frac{955}{0,99} = 965 \text{ Nm}$$

$$\eta_{VL} = 0,99 \quad \dots \text{iskoristivost ležaja po vratilu}$$

Faktor čvrstoće za materijal vratila St50-2 (Č.0545)

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDN}} = \frac{240}{1,73 \cdot 140} = 0,99$$

$$\begin{aligned}M_{red1} &= \sqrt{M_1^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{15,1^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965)^2} \\ &M_{red1} = 834,20 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{red2} &= \sqrt{M_2^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{3,14^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965)^2} \\ &M_{red2} = 833,99 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$M_{red3} = \sqrt{M_3^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{5,5^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965)^2}$$

$$M_{red3} = 834,00 \text{ Nm}$$

$$M_{red4} = \sqrt{M_4^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{4^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965)^2}$$

$$M_{red4} = 833,99 \text{ Nm}$$

Orijentacijske vrijednosti dozvoljenih naprezanja za materijal St50-2 (S obzirom na obradu i koncentracije naprezanja)

$$dop\sigma_{fDN} = 50 \frac{N}{mm^2}$$

$$dop\tau_{tDN} = 40 \frac{N}{mm^2}$$

Promjeri vratila

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red1}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{834200}{50}}$$

$$d_1' = 55,45 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 55,45 mm iznosi  $t=6,2 \text{ mm}$

$$d_1 = d_1' + t = 55,45 + 6,2$$

$$d_1 = 61,2 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red2}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{833990}{50}}$$

$$d_2 = 55,45 \text{ mm}$$

$$d_3 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red3}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{834000}{50}}$$

$$d_3 = 55,45 \text{ mm}$$

$$d_4 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red4}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{833990}{50}}$$

$$d_4 = 55,45 \text{ mm}$$

Provjera presjeka V-V s obzirom na uvijanje

$$d_{4V-V}' = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{V1}}{dop\tau_{tDN}}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{965000}{40}}$$

$$d_{4V-V}' = 49,7 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 49,7 mm iznosi  $t=5,5 \text{ mm}$

$$d_{4V-V} = d_{4V-V}' + t = 49,7 + 5,5$$

$$d_{4V-V} = 55,2 \text{ mm}$$

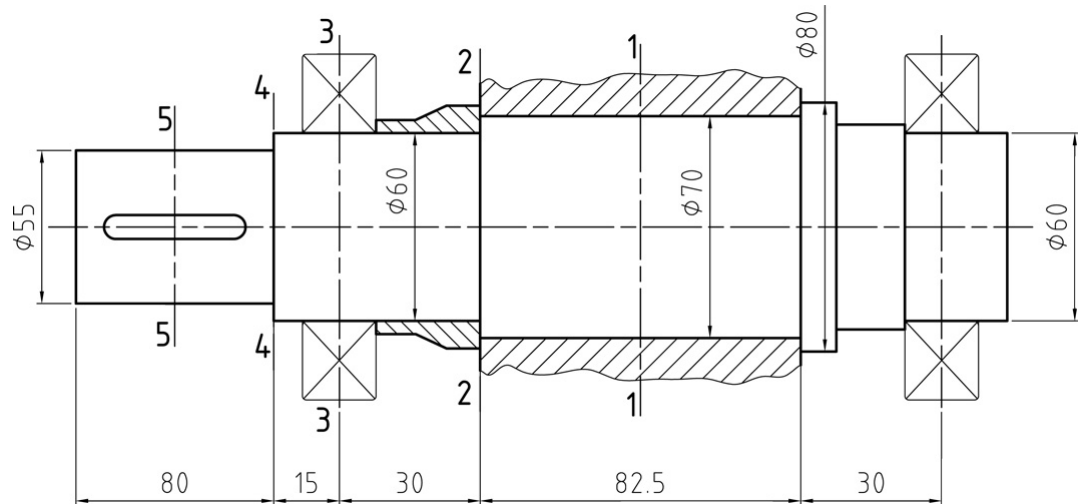
Prethodno odabrani promjeri iznose:

$$d_1 = 70 \text{ mm}$$

$$d_2 = 60 \text{ mm}$$

$$d_3 = 60 \text{ mm}$$

$$d_4 = 55 \text{ mm}$$



Slika 5. Konačni oblik vratila 1

### Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti Vratila 1

Presjek 1-1

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

$$M_1 = 15,1 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani utorom za pero:

$$\beta_{kf1} = 1,7 \dots \text{oblik } B, R_M = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta_{kt1} = 1,9 \dots \rho = 2 \text{ mm}$$

$$M_{red1} = \sqrt{(M_1 \cdot \beta_{kf1})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1} \cdot \beta_{kt1})^2}$$

$$M_{red1} = \sqrt{(15,1 \cdot 1,7)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965 \cdot 1,9)^2}$$

$$M_{red1} = 1572 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_1 = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 70^3 = 34300 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red1} = \frac{M_{red1}}{W_1} = \frac{1572000}{34300} = 45,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,79 \dots f(d_1)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$\sigma_{fDN} (St50 - 2) = 240 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_1 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,79 \cdot 0,95 \cdot 240}{45,83}$$

$$S_1 = 3,93$$

Presjek 2-2

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 3,14 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani zaobljenjem na prijelazu:

$$\beta_{kf2} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,4(2 - 1) = 1,4$$

$$c_1 = \left(\frac{70}{60} = 1,167\right) \approx 0,4$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{2}{60} = 0,033 \Rightarrow \beta_{kf2} = 2$$

$$\beta_{kt2} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,72(1,6 - 1) = 1,4 \quad 32$$

$$c_2 = \left(\frac{70}{60} = 1,167\right) \approx 0,72$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,6$$

$$M_{red2} = \sqrt{(M_2 \cdot \beta_{kf2})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt2})^2}$$

$$M_{red2} = \sqrt{(3,14 \cdot 1,4)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965 \cdot 1,432)^2}$$

$$M_{red2} = 1185 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_2 = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 60^3 = 21600 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red2} = \frac{M_{red2}}{W_2} = \frac{1185000}{21600} = 54,86 \frac{N}{mm^2}$$



Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,80 \dots f(d_2)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_2 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,8 \cdot 0,95 \cdot 240}{54,86}$$

$$S_2 = 3,32$$

Presjek 3-3

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

$$M_3 = 5,5 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani dosjedom ležaja:

$$\beta_{kf3} = 2$$

$$\beta_{kt3} = 0,6 \cdot \beta_{kf3} = 0,6 \cdot 2 = 1,2$$

$$M_{red3} = \sqrt{(M_3 \cdot \beta_{kf3})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1} \cdot \beta_{kt3})^2}$$

$$M_{red3} = \sqrt{(5,5 \cdot 2)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965 \cdot 1,2)^2}$$

$$M_{red3} = 993 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_3 = 0,1 \cdot d_3^3 = 0,1 \cdot 60^3 = 21600 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red3} = \frac{M_{red3}}{W_3} = \frac{993000}{21600} = 45,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,80 \dots f(d_3)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_3 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red3}} = \frac{0,8 \cdot 0,95 \cdot 240}{45,97}$$

$$S_3 = 3,97$$

Presjek 4-4

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

$$M_4 = 4 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani zaobljenjem na prijelazu:

$$\beta_{kf4} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,23(2 - 1) = 1,23$$

$$c_1 = \left(\frac{60}{55} = 1,09\right) \approx 0,23$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{2}{60} = 0,033 \Rightarrow \beta_{kf2} = 2$$

$$\beta_{kt4} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,45(1,6 - 1) = 1,27$$

$$c_2 = \left(\frac{60}{55} = 1,09\right) \approx 0,45$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,6$$

$$M_{red4} = \sqrt{(M_4 \cdot \beta_{kf4})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt4})^2}$$

$$M_{red2} = \sqrt{(4 \cdot 1,23)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 965 \cdot 1,27)^2}$$

$$M_{red2} = 1050 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_4 = 0,1 \cdot d_4^3 = 0,1 \cdot 55^3 = 16640 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red4} = \frac{M_{red4}}{W_4} = \frac{1050000}{16640} = 63,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,82 \dots f(d_4)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_4 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,82 \cdot 0,95 \cdot 240}{63,11}$$

$$S_4 = 2,96$$

Presjek 5-5

$$T_{V1} = 965 \text{ Nm}$$

Faktor zarezno djelovanja uslijed uvijanja vratila s utorom za pero

$$\beta_{kt5} = 1,8$$

Torzijski moment otpora

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 50^3}{16} = 24543 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naprezanje na uvijanje

$$\tau_{t5} = \frac{T_{V1}}{W_p} = \frac{965000}{24543} = 39,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,82 \dots f(d_4)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

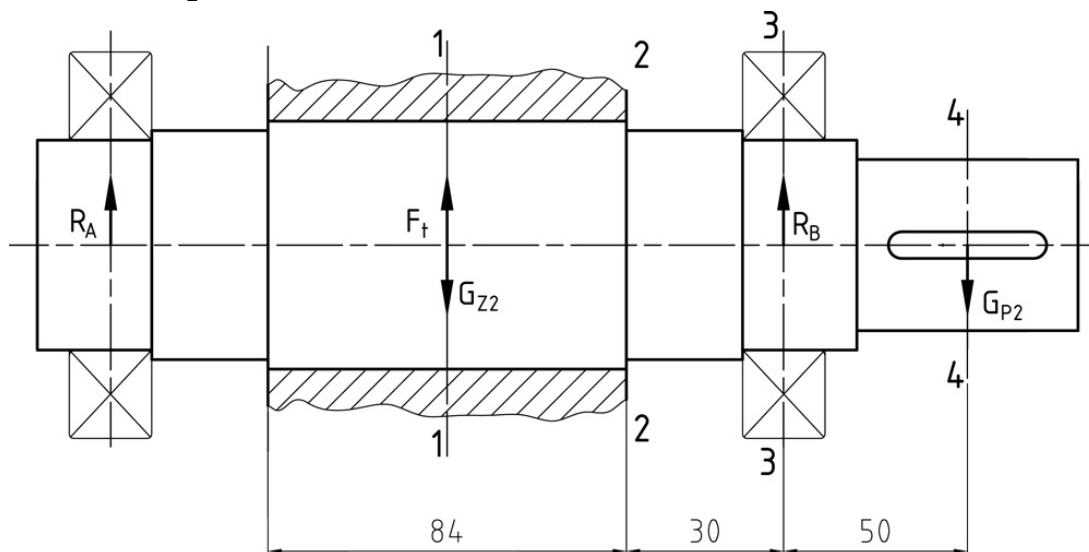
$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$\tau_{tDN} (St50 - 2) = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_5 = \frac{\tau_{tDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\tau_{t5} \cdot \beta_{kt5}} = \frac{140 \cdot 0,82 \cdot 0,95}{39,32 \cdot 1,8}$$

$$S_5 = 1,54$$

**Izlazno vratilo V<sub>2</sub>**

Slika 6. Skica vratila 2

**Sile na vratilu**

Težina zupčanika  $G_{z2} = 40 \text{ N}$

Težina prirubnice  $G_{p2} = 100 \text{ N}$

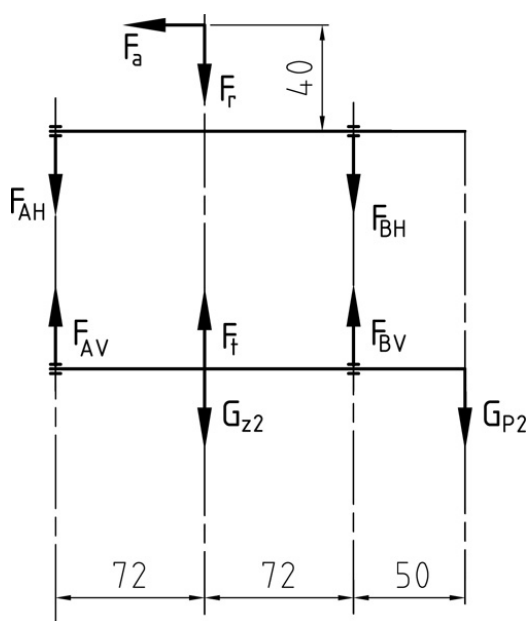
Obodna sila na kinematskoj kružnici  $F_t = 2263 \text{ N}$

Radijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha_{tw} = 2263 \cdot \tan 20,257^\circ = 835,2 \text{ N}$$

Aksijalna sila na kinematskoj kružnici

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = 2263 \cdot \tan 12^\circ = 481 \text{ N}$$



Slika 7. Dispozicija sila na vratilu 2

Reakcije u horizontalnoj ravnini

$$\begin{aligned}\sum M_A = 0 \quad & F_a \cdot 40 - F_r \cdot 72 - F_{BH} \cdot 144 = 0 \\ & 144 \cdot F_{BH} = F_a \cdot 40 - F_r \cdot 72 = 481 \cdot 40 - 835,2 \cdot 72 \\ & F_{BH} = -284 N \\ \sum M_B = 0 \quad & F_{AH} \cdot 144 + F_a \cdot 40 + F_r \cdot 72 = 0 \\ & 144 \cdot F_{AH} = -F_a \cdot 40 - F_r \cdot 72 = -481 \cdot 40 - 835,2 \cdot 72 \\ & F_{AH} = -551,2 N\end{aligned}$$

Reakcije u vertikalnoj ravnini

$$\begin{aligned}\sum M_A = 0 \quad & F_t \cdot 72 - G_{Z2} \cdot 72 + F_{BV} \cdot 144 - G_{P2} \cdot 194 = 0 \\ & 144 \cdot F_{BV} = 194 \cdot G_{P2} + G_{Z2} \cdot 72 - F_t \cdot 72 \\ & F_{BV} = -1071 N \\ \sum F_V = 0 \quad & F_{AV} + F_t - G_{Z2} + F_{BV} - G_P = 0 \\ & F_{AV} = G_P + G_{Z2} - F_t - F_{BV} = 40 + 30 - 2263 + 1071 \\ & F_{AV} = -1122 N\end{aligned}$$

Reakcija oslonca B

$$\begin{aligned}R_B &= \sqrt{F_{BH}^2 + F_{BV}^2} = \sqrt{284^2 + 1071^2} \\ R_B &= 1108 N\end{aligned}$$

### Promjeri pojedinih stupnjeva

Momenti savijanja u presjecima

$$\begin{aligned}M_1 &= R_B \cdot 72 - G_{P2} \cdot 122 = 1108 \cdot 72 - 30 \cdot 122 \\ M_1 &= 76 Nm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 &= R_B \cdot 30 - G_{P2} \cdot 80 = 1108 \cdot 30 - 30 \cdot 80 \\ M_2 &= 30,84 Nm\end{aligned}$$

$$M_3 = G_{P2} \cdot 50 = 30 \cdot 50 = 1,5 Nm$$

Reducirani momenti u pojedinim presjecima

Maximalni moment na drugom vratilu

$$T_{V2} = \frac{T_{V1max}}{2} \cdot i = \frac{965}{2} \cdot 0,1867 = 90 Nm$$

Faktor čvrstoće za materijal vratila RSt37-2 (Č.0361)

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDN}} = \frac{190}{1,73 \cdot 110} = 0,99$$

$$M_{red1} = \sqrt{M_1^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{76^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90)^2}$$

$$M_{red1} = 109 \text{ Nm}$$

$$M_{red2} = \sqrt{M_2^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{31^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90)^2}$$

$$M_{red2} = 84 \text{ Nm}$$

$$M_{red3} = \sqrt{M_3^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V1})^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90)^2}$$

$$M_{red3} = 78 \text{ Nm}$$

Orijentacijske vrijednosti dozvoljenih naprezanja za materijal RSt37-2 (S obzirom na obradu i koncentracije naprezanja)

$$dop\sigma_{fDN} = 50 \frac{N}{mm^2}$$

$$dop\tau_{tDN} = 40 \frac{N}{mm^2}$$

Promjeri vratila

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red1}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{109000}{50}}$$

$$d_1' = 28,14 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 28,14 mm iznosi  $t=4,1$  mm

$$d_1 = d_1' + t = 28,14 + 4,1$$

$$d_1 = 32,24 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red2}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{84000}{50}}$$

$$d_2 = 25,8 \text{ mm}$$

$$d_3' = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{red3}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{78000}{50}}$$

$$d_3' = 25,2 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 25,2 mm iznosi  $t=4,1$  mm

$$d_3 = d_3' + t = 25,2 + 4,1$$

$$d_3 = 29,3 \text{ mm}$$

Provjera presjeka 4-4 s obzirom na uvijanje

$$d_{4-4}' = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{V2}}{dop\tau_{tDN}}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{90000}{40}}$$

$$d_{4-4}' = 22,54 \text{ mm}$$

Promjer vratila na ovom presjeku treba povećati zbog utora za pero. Visina utora za pero za promjer 22,54 mm iznosi  $t=4,1$  mm

$$d_{4-4} = d_{4-4}' + t = 22,54 + 4,1$$

$$d_{4-4} = 26,64 \text{ mm}$$

Prethodno odabrani promjeri iznose:

$$d_1 = 35 \text{ mm}$$

$$d_2 = 35 \text{ mm}$$

$$d_3 = 30 \text{ mm}$$

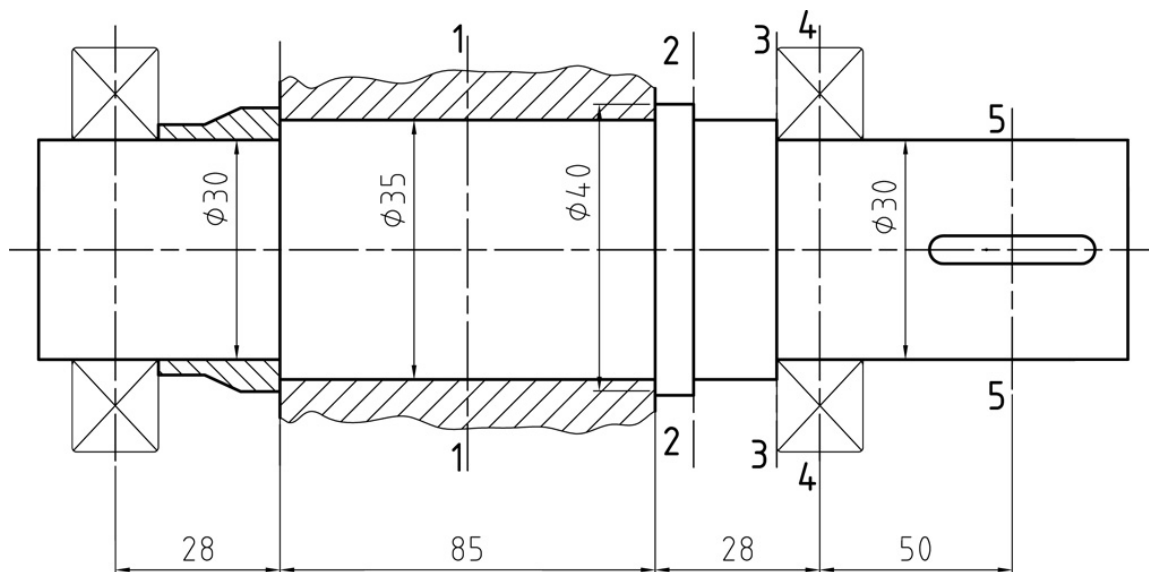
Kontrola doibenog promjera zupčanika u odnosu na promjer vratila

$$d_{f2} > 2 \cdot d_{vr}$$

$$d_{f2} = 73,232 \text{ mm}$$

$$d_{vr} d_{vr} = d_1 = 35 \text{ mm}$$

$$73,232 > 2 \cdot 35 = 70 \text{ mm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$



Slika 8. Konačni oblik vratila 2

### Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti Vratila 2

Presjek 1-1

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm Nm}$$

$$M_1 = 76 \text{ Nm Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani utorom za pero:

$$\beta_{kf1} = 1,7 \quad \dots \text{oblik } B, R_M = 500 \frac{N}{mm^2}$$

$$\beta_{kt1} = 1,8 \quad \dots \rho = 1,8 \text{ mm}$$

$$M_{red1} = \sqrt{(M_1 \cdot \beta_{kf1})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt1})^2}$$

$$M_{red1} = \sqrt{(76 \cdot 1,7)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90 \cdot 1,8)^2}$$

$$M_{red1} = 190 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_1 = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 35^3 = 4290 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red1} = \frac{M_{red1}}{W_1} = \frac{190000}{4290} = 44,29 \frac{N}{mm^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,87 \quad \dots f(d_1)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$\sigma_{fDN} (RSt37 - 2) = 190 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_1 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,87 \cdot 0,95 \cdot 190}{44,29}$$

$$S_1 = 3,54$$

Presjek 2-2

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 30,84 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani zaobljenjem na prijelazu:

$$\beta_{kf2} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf1} - 1) = 1 + 0,35(1,8 - 1) = 1,28$$

$$c_1 = \left(\frac{40}{35}\right) = 1,143 \approx 0,35$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{1,5}{35} = 0,043 \Rightarrow \beta_{kf2} = 1,8$$



$$\beta_{kt2} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,65(1,5 - 1) = 1,325$$

$$c_2 = \left(\frac{40}{35} = 1,143\right) \approx 0,65$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,5$$

$$M_{red2} = \sqrt{(M_2 \cdot \beta_{kf2})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt2})^2}$$

$$M_{red2} = \sqrt{(30,84 \cdot 1,28)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90 \cdot 1,325)^2}$$

$$M_{red2} = 109,6 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_2 = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 35^3 = 4290 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red2} = \frac{M_{red2}}{W_2} = \frac{109600}{4290} = 25,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,87 \dots f(d_2)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_2 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,87 \cdot 0,95 \cdot 190}{25,55}$$

$$S_2 = 6,28$$

Presjek 3-3

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm}$$

$$M_3 = R_B \cdot 10 - G_{P2} = 1108 \cdot 0,010 - 30 \cdot 0,060 = 9,28 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani zaobljenjem na prijelazu:

$$\beta_{kf3} = 1 + c_1 \cdot (\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,4(2,4 - 1) = 1,56$$

$$c_1 = \left(\frac{35}{30} = 1,167\right) \approx 0,4$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{35} = 0,0143 \Rightarrow \beta_{kf2} = 2,4$$

$$\beta_{kt3} = 1 + c_2 \cdot (\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,72(1,7 - 1) = 1,504$$

$$c_2 = \left(\frac{35}{30} = 1,167\right) \approx 0,72$$

$$\beta_{kt1,4} = 1,7$$

$$M_{red3} = \sqrt{(M_3 \cdot \beta_{kf3})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt3})^2}$$

$$M_{red3} = \sqrt{(9,28 \cdot 1,56)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90 \cdot 1,504)^2}$$

$$M_{red2} = 117 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_3 = 0,1 \cdot d_3^3 = 0,1 \cdot 30^3 = 2700 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red3} = \frac{M_{red3}}{W_3} = \frac{117000}{2700} = 43,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,9 \dots f(d_2)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_3 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red1}} = \frac{0,9 \cdot 0,95 \cdot 190}{43,33}$$

$$S_3 = 3,75$$

Presjek 4-4

$$\alpha_0 = 0,99$$

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm}$$

$$M_4 = 1,5 \text{ Nm}$$

Faktori zareznog djelovanja uzrokovani dosjedom ležaja:

$$\beta_{kf4} = 2$$

$$\beta_{kt4} = 0,6 \cdot \beta_{kf4} = 0,6 \cdot 2 = 1,2$$

$$M_{red4} = \sqrt{(M_4 \cdot \beta_{kf3})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot T_{V2} \cdot \beta_{kt4})^2}$$

$$M_{red4} = \sqrt{(1,5 \cdot 2)^2 + 0,75 \cdot (0,99 \cdot 90 \cdot 1,2)^2}$$

$$M_{red4} = 92,6 \text{ Nm}$$

Moment otpora

$$W_4 = 0,1 \cdot d_4^3 = 0,1 \cdot 30^3 = 2700 \text{ mm}^3$$

Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red4} = \frac{M_{red4}}{W_4} = \frac{92600}{2700} = 34,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,90 \dots f(d_3)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$S_4 = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\sigma_{red3}} = \frac{0,9 \cdot 0,95 \cdot 190}{34,3}$$

$$S_4 = 4,74$$

Presjek 5-5

$$T_{V2} = 90 \text{ Nm}$$

Faktor zareznog djelovanja uslijed uvijanja vratila s utorom za pero

$$\beta_{kt5} = 1,8$$

Torzijski moment otpora

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 30^3}{16} = 5300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naprezanje na uvijanje

$$\tau_{t5} = \frac{T_{V2}}{W_p} = \frac{90000}{5300} = 16,98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Faktor veličine strojnog dijela

$$b_1 = 0,9 \dots f(d_4)$$

Faktor kvalitete površinske obrade

$$b_2 = 0,95$$

Konačni koeficijent sigurnosti

$$\tau_{tDN} (RSt37 - 2) = 110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

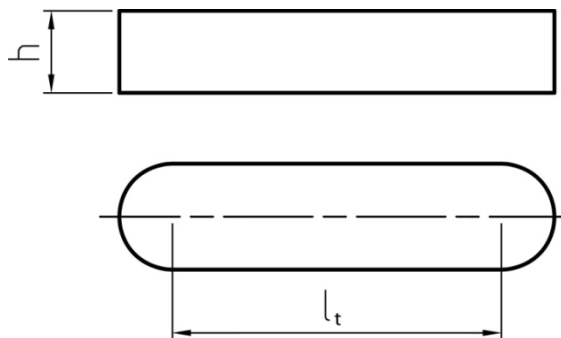
$$S_5 = \frac{\tau_{tDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\tau_{t5} \cdot \beta_{kt5}} = \frac{110 \cdot 0,9 \cdot 0,95}{16,98 \cdot 1,8}$$
$$S_5 = 3,1$$

### **Izlazno vratilo V<sub>3</sub>**

Vratilo je identično vratilu 2 uz dodatak rukavca za prihvat remenice te time nije potrebno vršiti proračun.

## Odabir pera

Odabrana su pera oblika A po DIN 6885 A normi.



Slika 9. Oblik pera

## Provjera pera na bočni tlak

Pero 1 (Zupčanik 1/Vratilo 1)

Pero 20x60, Oblik A (DIN 6885 A)

$$l_t = 40 \text{ mm}$$

$$h = 12 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$F_t = \frac{T_1}{r_{vr}} = \frac{636000}{35} = 18171 \text{ N}$$

$$p_1 = \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} = \frac{18171}{240} = 74,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$p_{dop} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{prema [3]}$$

$$p_1 < p_{dop} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Pero 2 (Zupčanik 2/Vratilo2 [Z2/V3])

Pero 10x60, Oblik A (DIN 6885 A)

$$l_t = 50 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$F_t = \frac{T_2}{r_{vr}} = \frac{90000}{35} = 5143 \text{ N}$$

$$p_2 = \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} = \frac{5143}{200} = 25,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$p_2 < p_{dop} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

## Odabir ležajeva (Prema SKF-u)

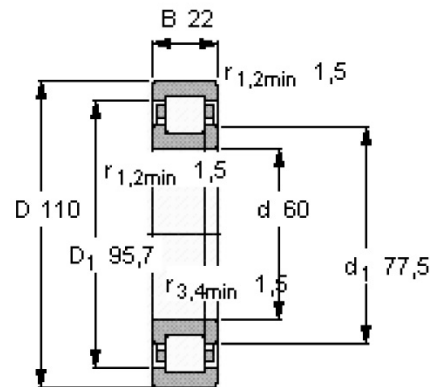
### Vratilo 1

$$\begin{aligned}\text{Oslonac A} \quad F_a &= 2 \cdot 481 = 962 \text{ N} \\ F_r &= 388 \text{ N} \\ n &= 450 \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

Odabran je radijalno-aksijalni ležaj SKF NUP 212 prema promjeru rukavca.

#### Karakteristike ležaja

$$\begin{aligned}d &= 60 \text{ mm} \\ D &= 110 \text{ mm} \\ B &= 22 \text{ mm} \\ e &= 0,2 \\ Y &= 0,6 \\ C &= 108 \text{ kN} \\ C_0 &= 102 \text{ kN}\end{aligned}$$



Slika 10. Ležaj NUP212

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{962}{388} = 2,48 > e$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow P &= 0,92 \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,92 \cdot 388 + 0,6 \cdot 962 \\ P &= 934 \text{ N}\end{aligned}$$

$$L_{nmh} = \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3}$$

$$L_{nmh} = \frac{1000000}{60 \cdot 450} \cdot \left(\frac{108000}{934}\right)^{10/3} = 2,73 \cdot 10^8 \text{ h}$$

$$L_{hpotrebno} = 13000 \text{ h} \quad \text{prema [5]}$$

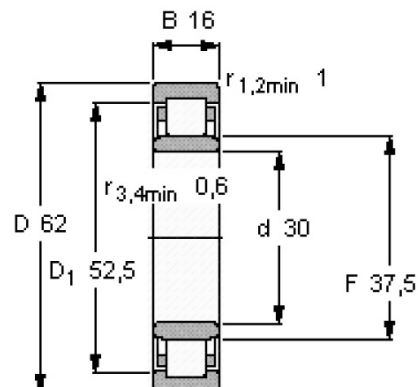
$$L_{nmh} > L_{hpotrebno} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

### Oslonac B

Odabran je radijalni ležaj SKF NU 212 prema promjeru rukavca.

#### Karakteristike ležaja

$$\begin{aligned}d &= 60 \text{ mm} \\ D &= 110 \text{ mm} \\ B &= 22 \text{ mm} \\ e &= 0,2 \\ Y &= 0,6 \\ C &= 108 \text{ kN} \\ C_0 &= 102 \text{ kN}\end{aligned}$$



Slika 11. Ležaj NU212

Nije potrebno provesti proračun za ležaj u osloncu B jer su sile gotovo jednake kao i u osloncu A, a ležaj višetruko zadovoljava kriterij radnih sati.

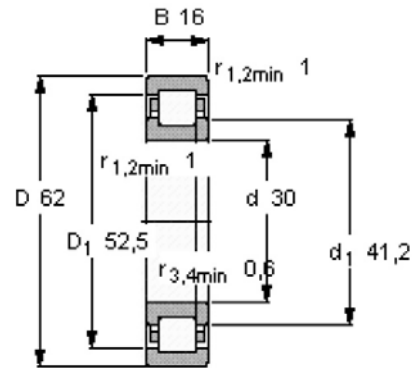
## Vratilo 2

$$\begin{aligned}\text{Oslonac B} \quad F_a &= 481 \text{ N} \\ F_r &= 1108 \text{ N} \\ n &= 2407 \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

Odabran je radijalno-aksijalni ležaj SKF NUP 206 prema promjeru rukavca.

### Karakteristike ležaja

$$\begin{aligned}d &= 30 \text{ mm} \\ D &= 62 \text{ mm} \\ B &= 16 \text{ mm} \\ e &= 0,2 \\ Y &= 0,6 \\ C &= 44 \text{ kN} \\ C_0 &= 36,5 \text{ kN}\end{aligned}$$



Slika 12. Ležaj NUP206

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{481}{1108} = 0,43 > e$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow P &= 0,92 \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,92 \cdot 1108 + 0,6 \cdot 481 \\ P &= 1309 \text{ N}\end{aligned}$$

$$L_{nmh} = \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} = \frac{1000000}{60 \cdot 2407} \cdot \left(\frac{44000}{1309}\right)^{10/3} = 8,48 \cdot 10^5 \text{ h}$$

$$L_{hpotrebn} = 13000 \text{ h} \quad \text{prema [5]}$$

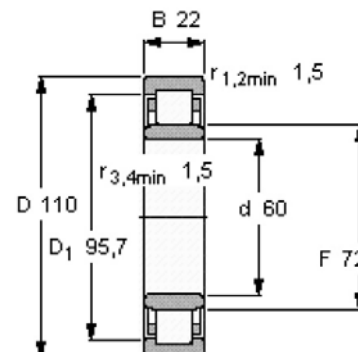
$$L_{nmh} > L_{hpotrebn} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

## Oslonac A

Odabran je radijalni ležaj SKF NU 206 prema promjeru rukavca.

### Karakteristike ležaja

$$\begin{aligned}d &= 30 \text{ mm} \\ D &= 62 \text{ mm} \\ B &= 16 \text{ mm} \\ e &= 0,2 \\ Y &= 0,6 \\ C &= 44 \text{ kN} \\ C_0 &= 36,5 \text{ kN}\end{aligned}$$



Slika 13. Ležaj NU206

Nije potrebno provesti proračun za ležaj u osloncu A jer su sile gotovo jednake kao i u osloncu B, a ležaj višetruko zadovoljava kriterij radnih sati.

## Osiguranje aksijalnih pomaka ležaja

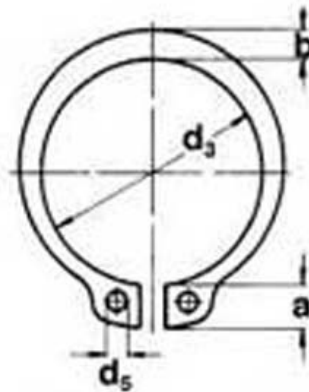
Za osiguranje pomaka ležaja u aksijalnom smjeru odlučio sam se za prstenaste uskočnike (Seeger-e) na mjestima gdje je to potrebno. Na ostalim mjestima to je osigurano oblikom vratila te poklopcem.

Odabrani uskočnici zadovoljavaju normu DIN 472.

Vanjski uskočnici

A30 ( $d_3=27.9$  mm)

A60( $d_3=55.8$  mm):

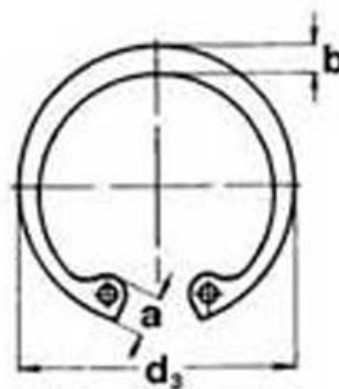


Slika 14. Vanjski prstenasti uskočnik

Unutarnji uskočnici

J62 ( $d_3=66.2$ mm)

J110 ( $d_3=117$ mm)



Slika 15. Unutarnji prstenasti uskočnik



## Odabir brtvi

S obzirom da se u multiplikatoru koristi ulje, potrebno je osigurati da ne izlazi iz sklopa. Kritični dijelovi su vratila tj. ulaz vratila 1 te izlazi vratila 2 i 3.

Za brtvljenje sam odabrao dinamičke brtve Trelleborg TRD Type BS.



Slika 16. Brtva Trelleborg TRD

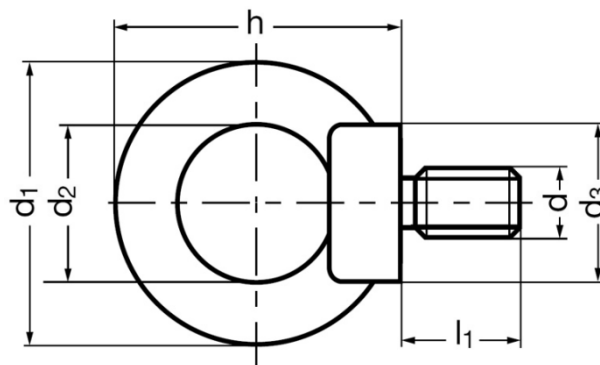
Odabrane su sljedeće verzije:

- BS25 za promjer vratila 25mm (b=7mm)
- BS30 za promjer vratila 30mm (b=7mm)
- BS60 za promjer vratila 60mm (b=8mm)

## Odabir elementa za dizanje multiplikatora

Za dizanje cijelog multiplikatora odabrao sam dva okasta vijka M12, svaki sa jedne strane multiplikatora.

$$\begin{aligned} d &= M12 \\ d_1 &= 54 \text{ mm} \\ d_2 &= 30 \text{ mm} \\ d_3 &= 30 \text{ mm} \\ h &= 53 \text{ mm} \\ l_1 &= 20,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



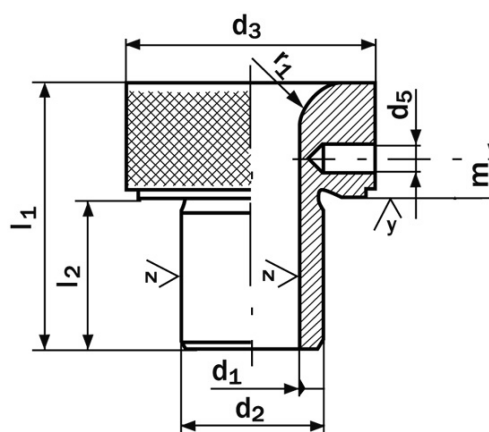
Slika 17. Okasti vijak

## Odabir odzračnika

S obzirom da se ulje zagrijava, unutar multiplikatora se stvaraju plinovi koji stvaraju pritisak unutar njega, te nam radi izjednačavanja tlaka između multiplikatora i vanjske atmosfere treba odzračnik koji se nalazi na najvišoj točki multiplikatora.

Odabrao sam odzračnik tvrtke ENOMAX koji zadovoljava normu DIN 173.

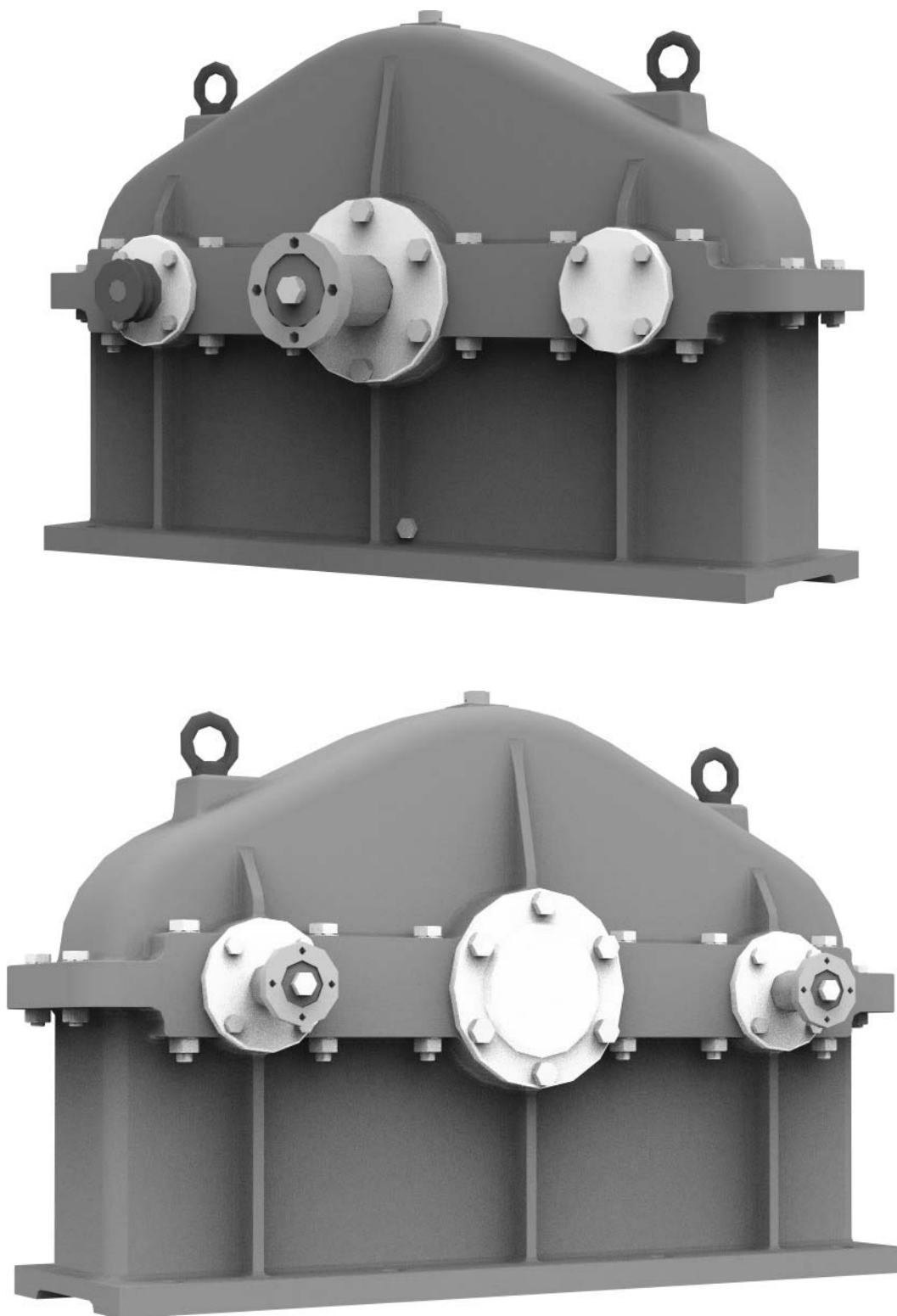
$$\begin{aligned} d_1 &= 6,1 \text{ mm} \\ d_2 &= M12 \\ d_3 &= 22 \text{ mm} \\ l_1 &= 24 \text{ mm} \\ l_2 &= 12 \text{ mm} \\ d_5 &= 3 \text{ mm} \\ r_1 &= 4 \text{ mm} \end{aligned}$$



Slika 18. Odzračnik

## Model Multiplikatora

Kompletan multiplikator modeliran je u programu PRO/Engineer W4.



Slika 19. Model multiplikatora

## Prilog

### Tehnička dokumentacija

- Sklop Multiplikatora
- Zupčanik 1
- Zupčanik 2
- Vratilo 1
- Vratilo 2
- Vratilo 3
- Poklopac Kučišta
- Donji dio kučišta
- Poklopac A1
- Poklopac B1
- Poklopac A2
- Poklopac B2
- Poklopac C2
- Distantni prsten 1
- Distantni prsten 2

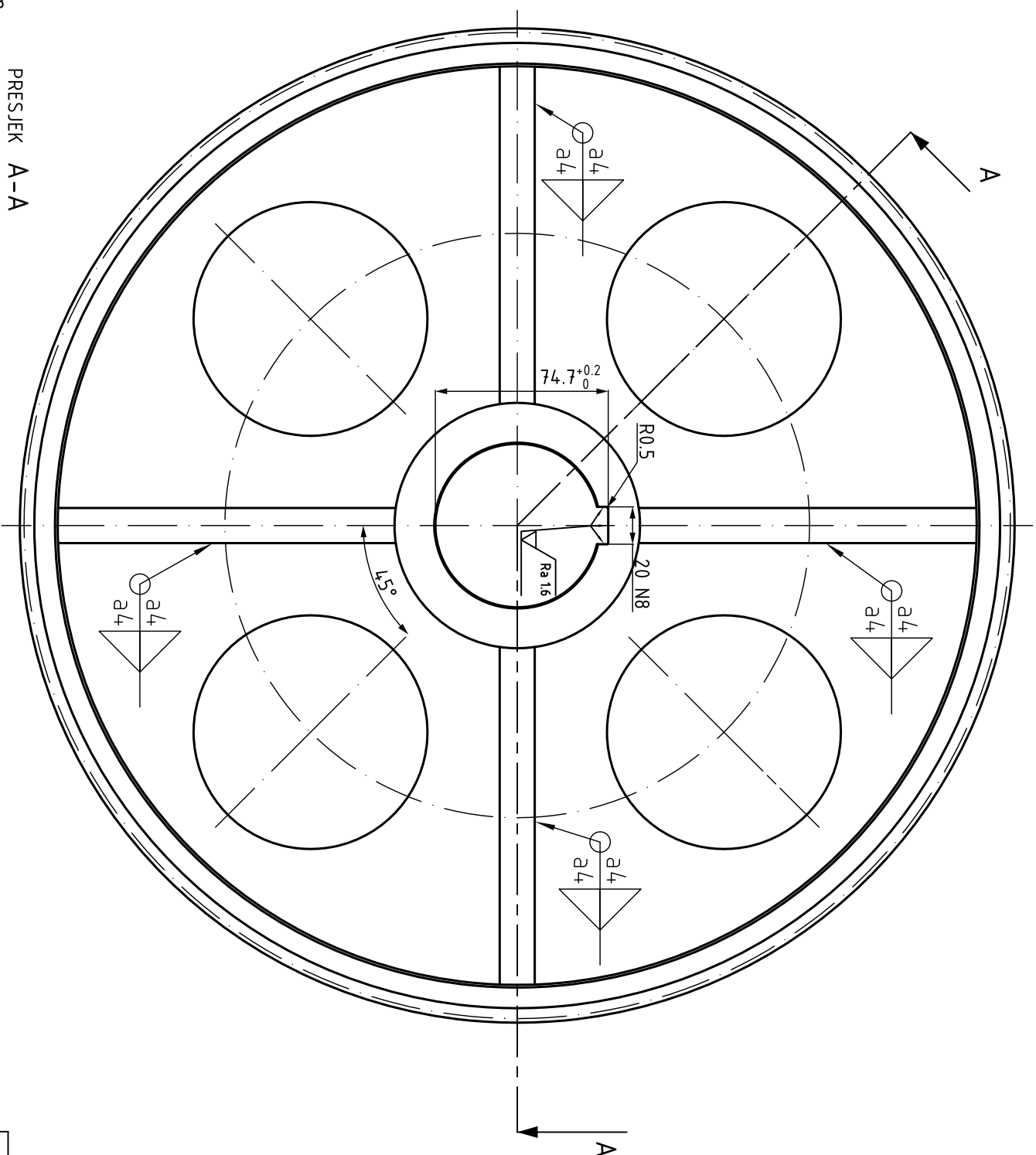
## **Zaključak**


Tokom izrade proračuna dolazio sam do nekolicine dilema i problema koje sam uz pomoć mentora uspio razrješiti. Najveći problem prilikom samog projektiranja multiplikatora je literatura vezana uz njih. Literatura koja obuhvaća multiplikatore je zaista vrlo skromna jer je većina literature s tom tematikom orijentirana na probleme redukcije. Kroz proračun i konstruiranje pokušao sam slijediti norme i standarde u najvećoj mogućoj mjeri te sam koristio što je više moguće standardne dijelove i dimenzije što uvelike smanjuje vrijeme izrade te cijenu samog reduktora. Kod projektiranja zupčanika odlučio sam se za zupčanike sa kosim zubima radi smanjenja buke i radi povećanja mirnoće u radu. Mana cijelog multiplikatora je njegova masa što ukazuje na mogućnost optimizacije istog.

## Popis literature

- [1] Eugen Oberšmit, Ozubljenja i zupčanici; Zagreb, 1993.
- [2] Bojan Kraut, Strojarski priručnik; Sajema, Zagreb, 2009.
- [3] Karl-Heinz Decker, Elementi strojeva; Golden marketing-Tehnička knjiga, Zagreb, 2006.
- [4] Milan Opalić, Prijenosnici snage i gibanja – podloge za predavanja, FSB, Zagreb.
- [5] Tomislav Filetin, Izbor materijala pri razvoju proizvoda; FSB, Zagreb, 2006.
- [6] Zvonimir Horvat i suradnici, Vratilo; FSB, Zagreb,
- [7] Milan Opalić - Petar Rakamarić, Reduktor; FSB, Zagreb, 2001.
- [8] [www.skf.com](http://www.skf.com)
- [9] [www.seeger-orbis.de](http://www.seeger-orbis.de)
- [10] [www.tss.trelleborg.com](http://www.tss.trelleborg.com)
- [11] [www.enomax.fr/](http://www.enomax.fr/)
- [12] [www.bene-inox.com](http://www.bene-inox.com)








 Ra 3.2    Ra 1.6    Ra 0.8  
 brušeno

Broj zubi [z]	150
Modul [m]	2.75mm
Standardni profil	HRN M.C1.015
Promjer diobene kružnice [d]	421.78mm
Pomak profila [x <sub>m</sub> ]	-0.9625mm
Promjer temeljne (osnovne) kružnice [d <sub>n</sub> ]	395.29mm
Kvaliteta	7 ed
Mjerni broj zubi [z <sub>w</sub> ]	19
Kut nagiba boka [β]	12°
Mjera preko nekoliko zubi [ $W_{A_{w,d}}^{A_{w,g}}$ ]	158.65 <sub>-0.144</sub> <sup>+0.108</sup> mm
Promjer kinematske kružnice [d <sub>w</sub> ]	421.36mm
Broj okretaja [n]	450 min <sup>-1</sup>
Broj zubi zupčanika u zahvatu	3.607
Razmak osi vratila [a <sub>A<sub>g,d</sub></sub> ]	250±0.036
Kut zahvatne linije [α <sub>t<sub>w</sub></sub> ]	20°15'25"
Kružna zračnost [j]	161-287 μm

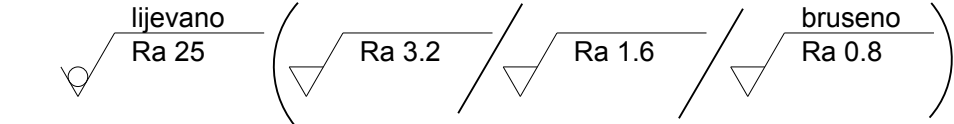
**Napomena:**

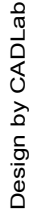
## Toplinska obrada

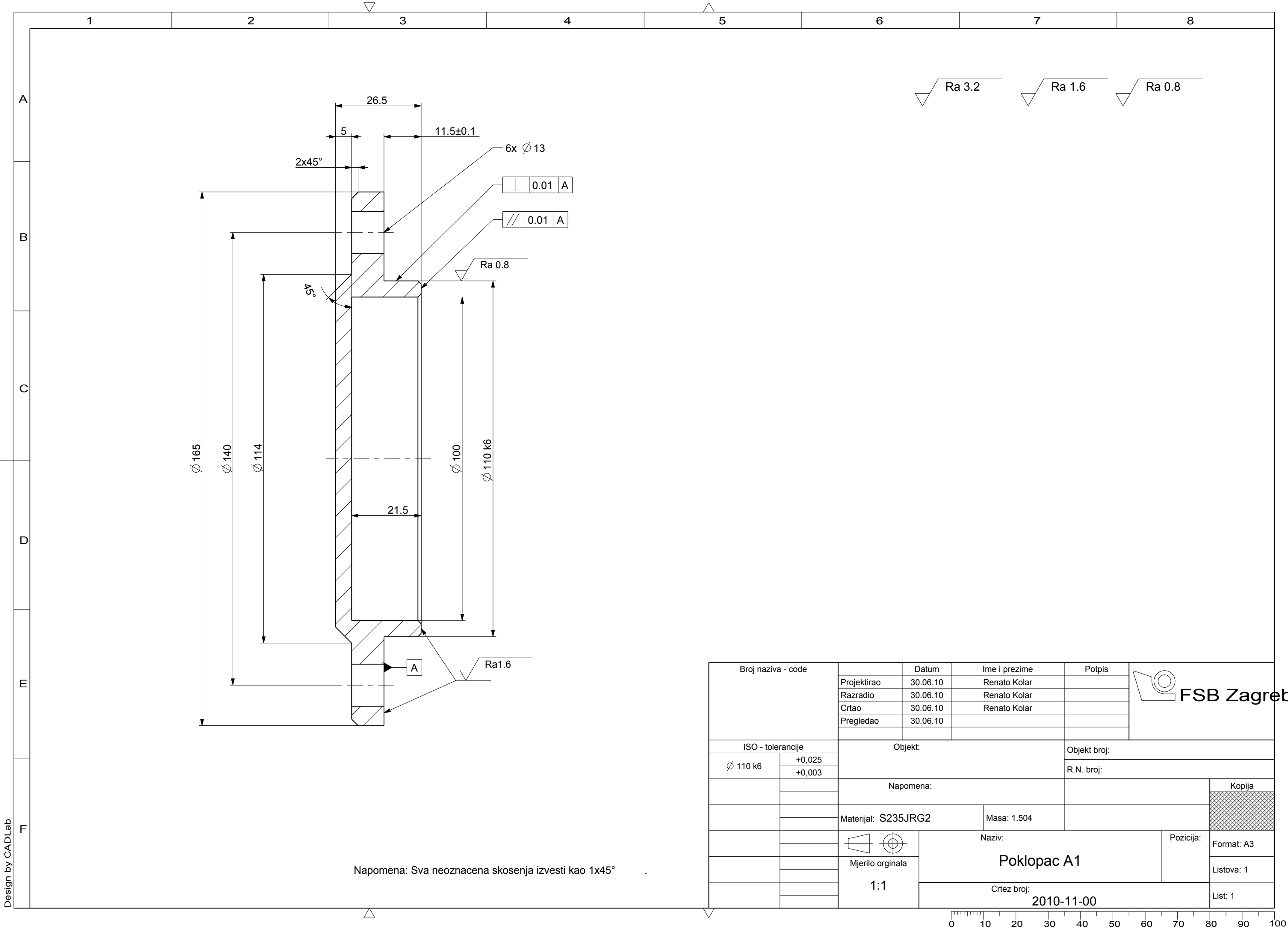
2	Zupčanik 1			1		C45E (plam. kaljen)	24.400
1	Rebro 1			8		C45E	0.421
Poz.	Naziv dijela			kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Masa
Broj naziva - code				Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>
		Projekтирао			Renato Kolar		
		Razradio			Renato Kolar		
		Crtao			Renato Kolar		
		Pregledao					
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:			
20 N9	-0.003			R. N. broj:			
	-0.036						
70 k7	+0.009	Napomena:				Kopija	
	-0.021						
		Materijal:	C45E	Masa:			
				Naziv:	Zupčanik 1		Pozicija:
		Mjerilo originala					
		1:2.5		Crtež broj:	2010-01-00		List: 1




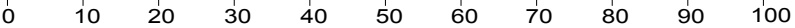


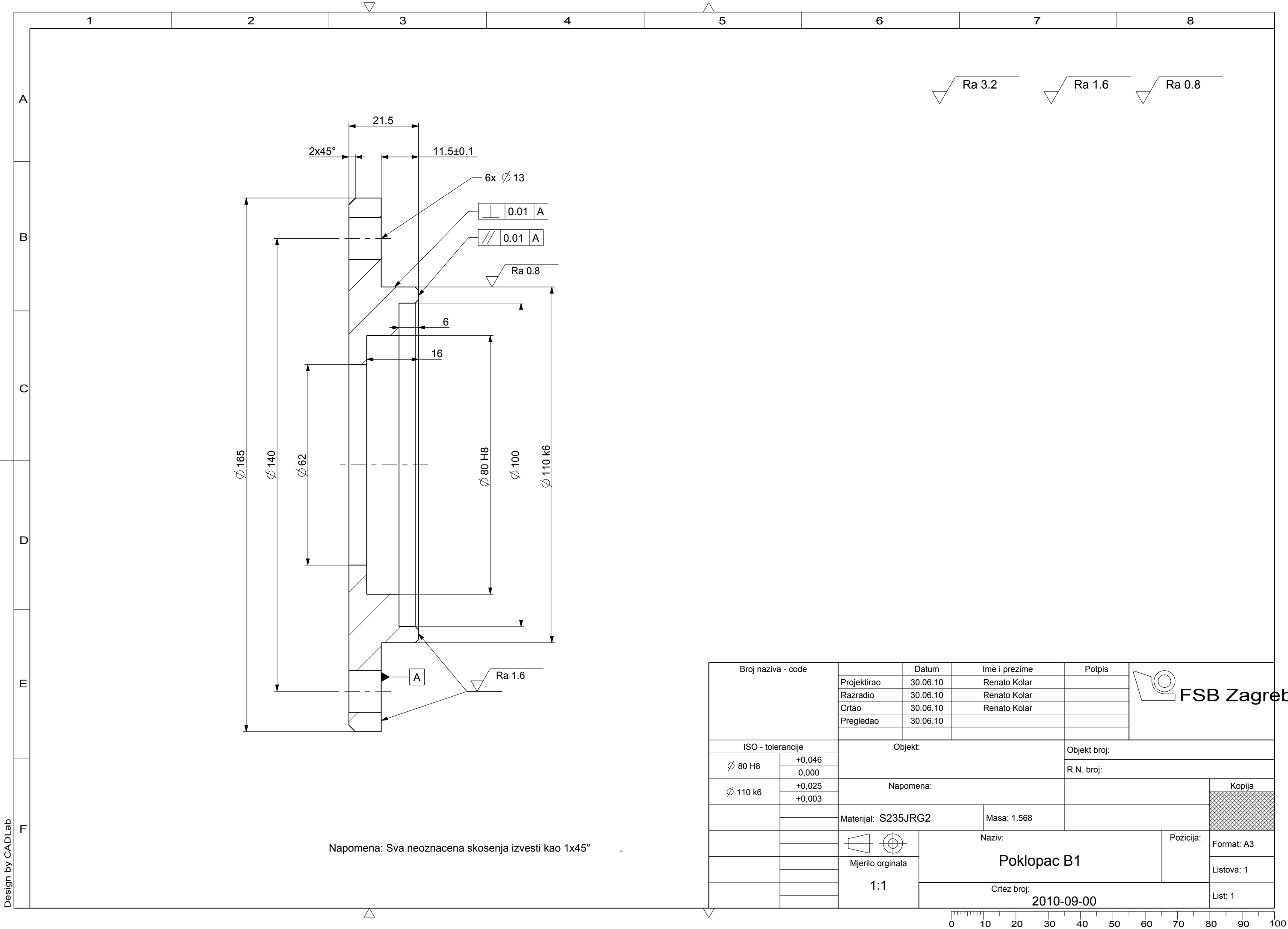


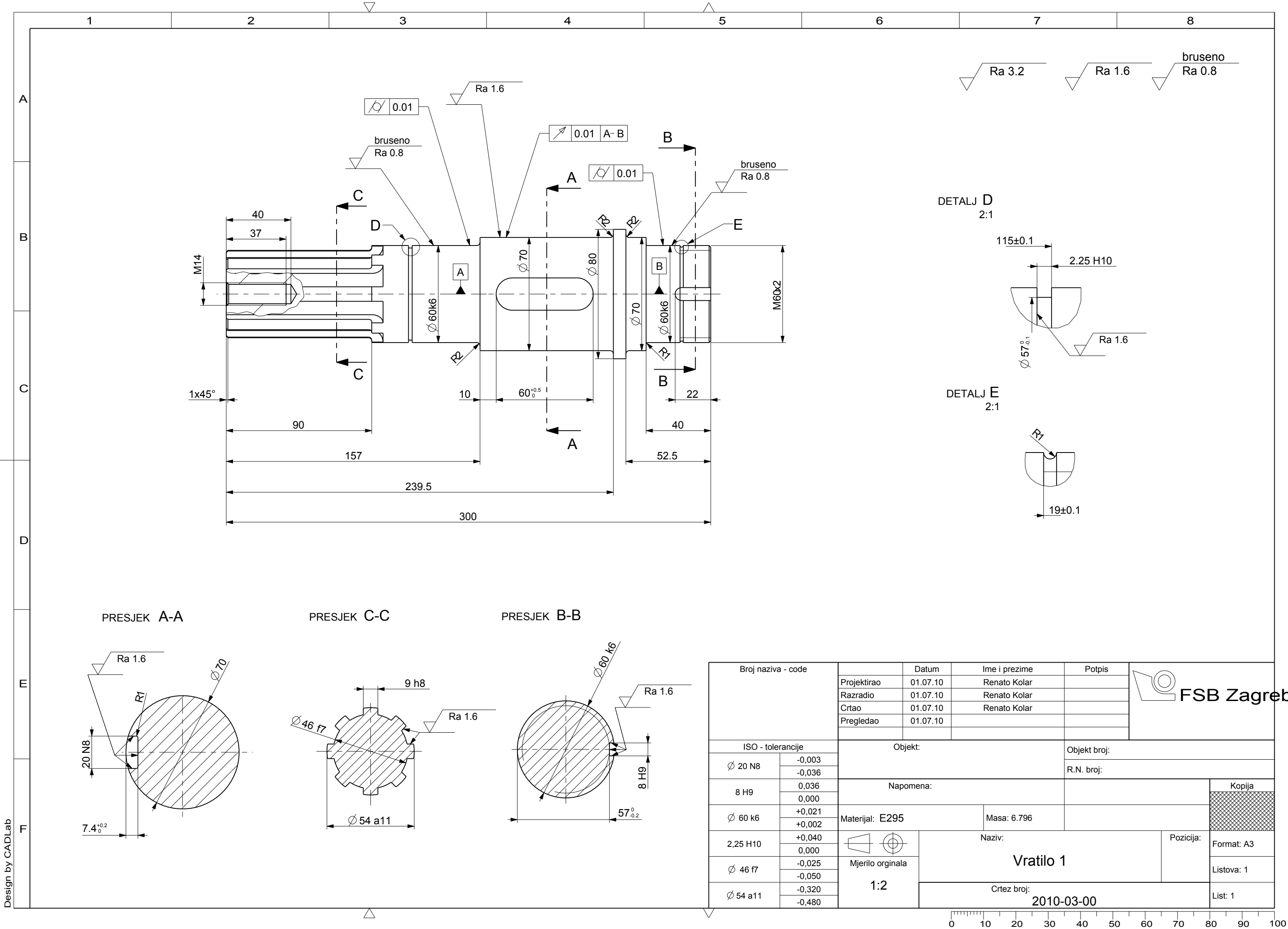


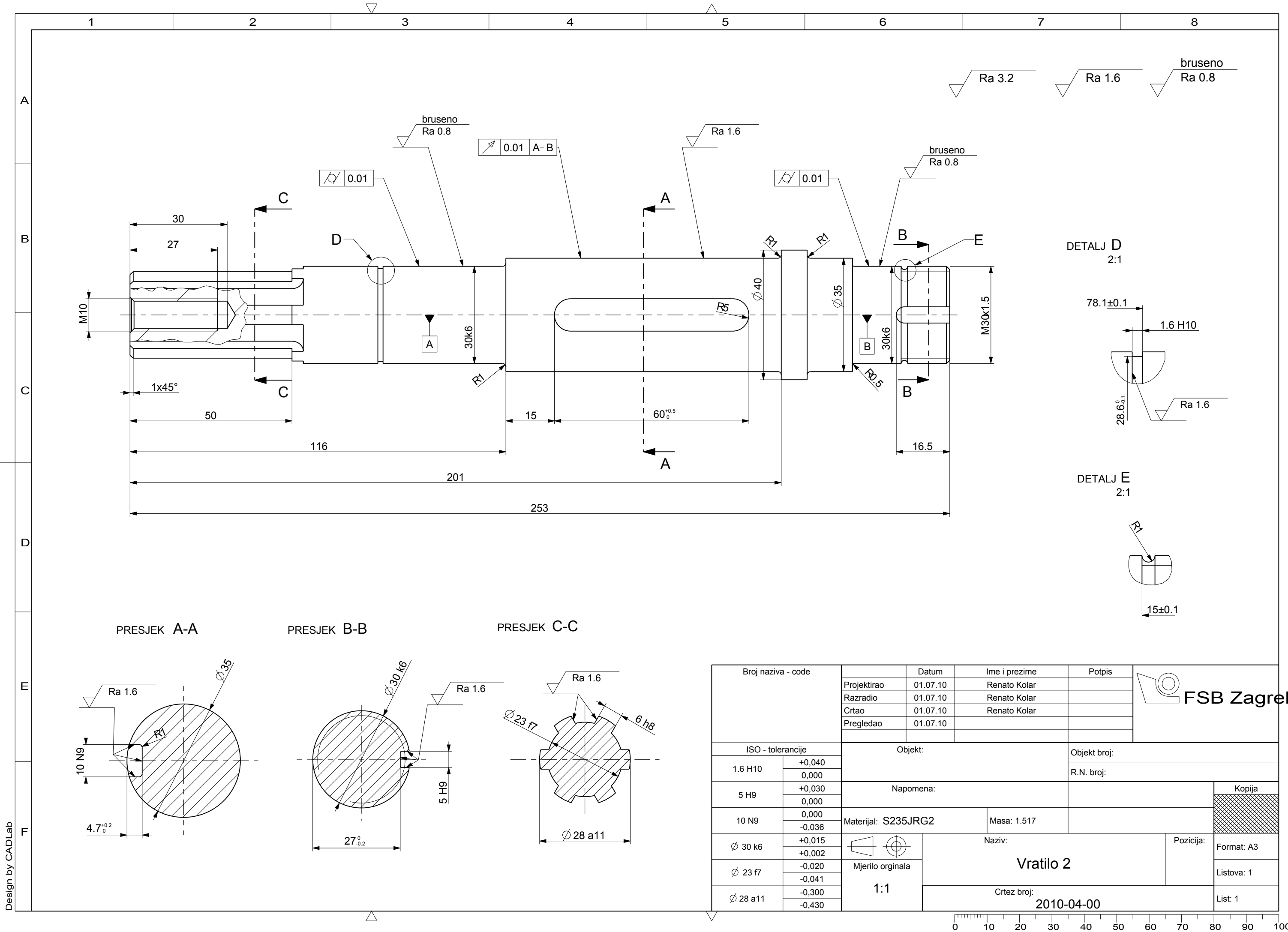


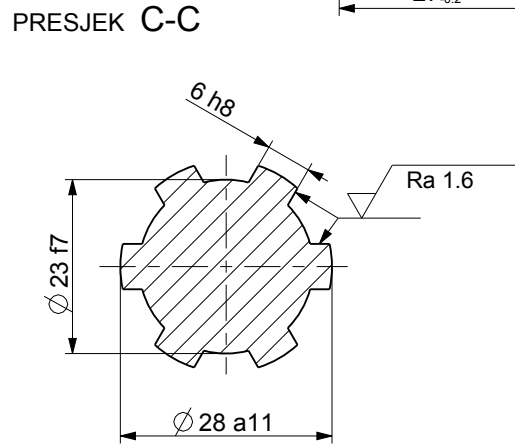
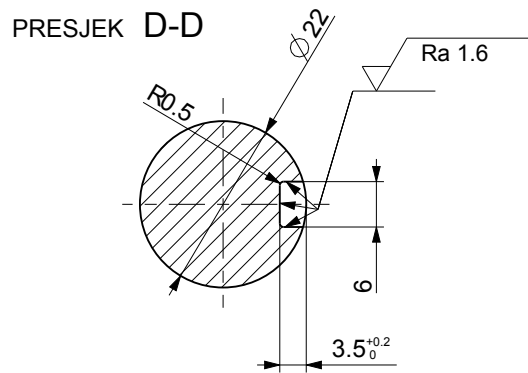
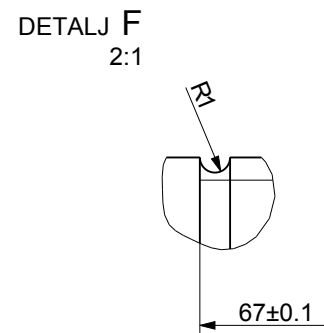
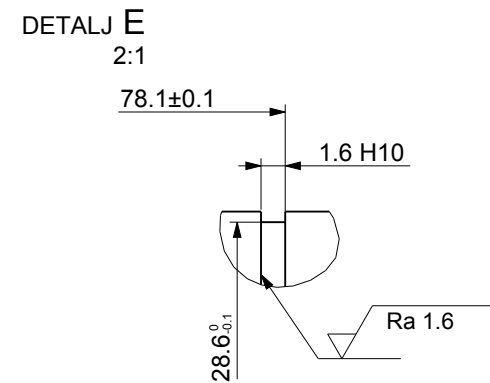
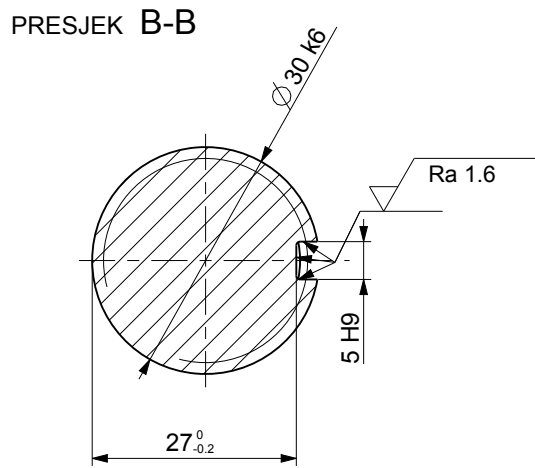
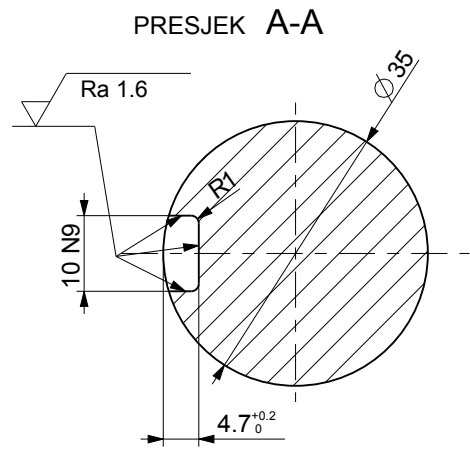
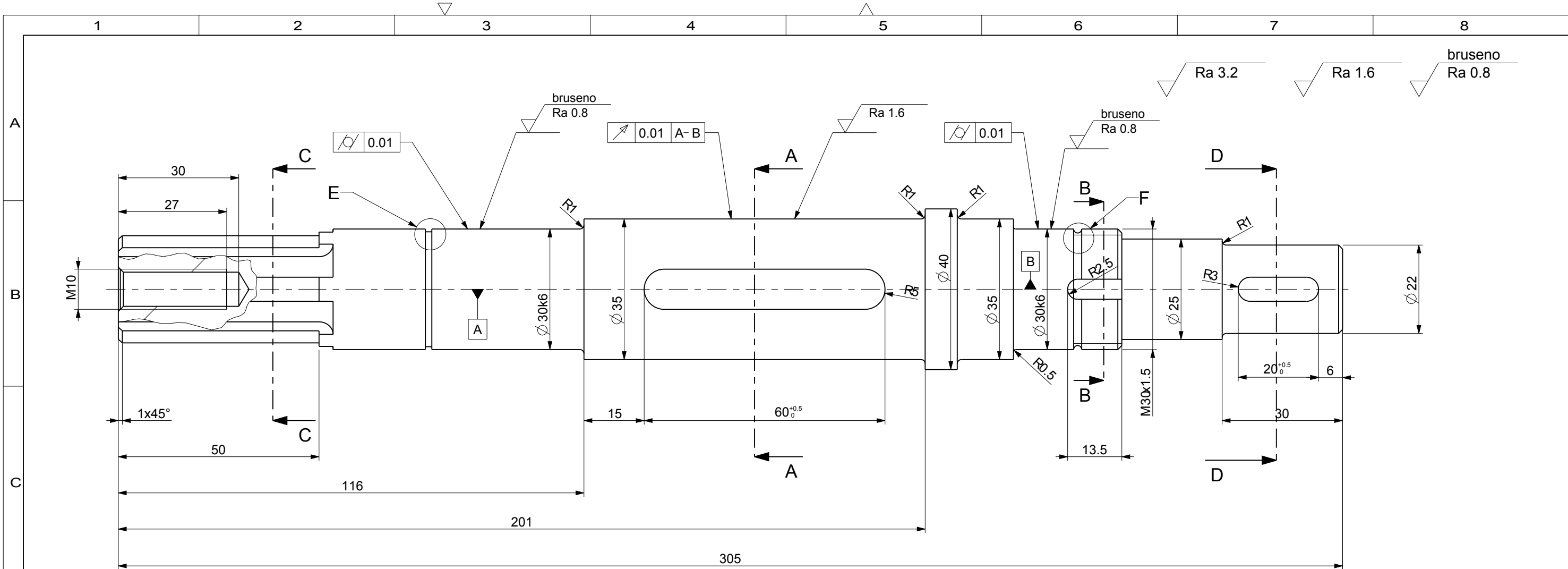
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
$\varnothing 110\ k6$	+0,025					
	+0,003				R.N. broj:	
		Napomena:			Kopija	
		Materijal: S235JRG2		Masa: 1.504		
		Naziv:			Pozicija:	Format: A3
		Mjerilo originala				
		1:1			Listova: 1	
		Crtez broj:			List: 1	
		2010-11-00				




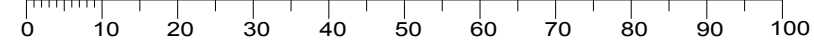









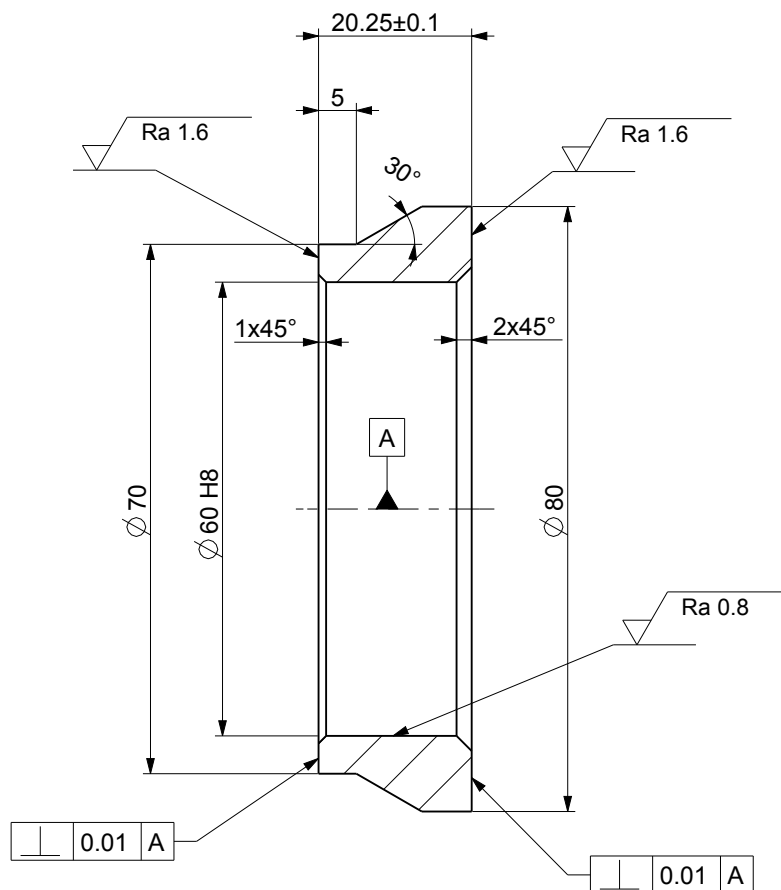


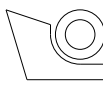
Broj naziva - code		Projektirao		Datum	Ime i prezime	Potpis	<div>FSB Zagreb</div>	
		Razradio		01.07.10	Renato Kolar			
		Crtao		01.07.10	Renato Kolar			
		Pregledao		01.07.10	Renato Kolar			
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj:		
1.6 H10	+0,040					R.N. broj:		
	0,000							
5 H9	+0,030	Napomena:						
	0,000							
10 N9	0,000	Materijal: S235JRG2		Masa: 1.683				
	-0,036							
Ø 30 k6	+0,015	<div></div> <div>Mjerilo originala</div> <div>1:1</div>	Naziv:			Pozicija:	Format: A3	
	+0,002						Vratilo 3	
Ø 23 f7	-0,020		Crtez broj:				List: 1	
	-0,041							
Ø 28 a11	-0,300		2010-05-00					
	-0,430							






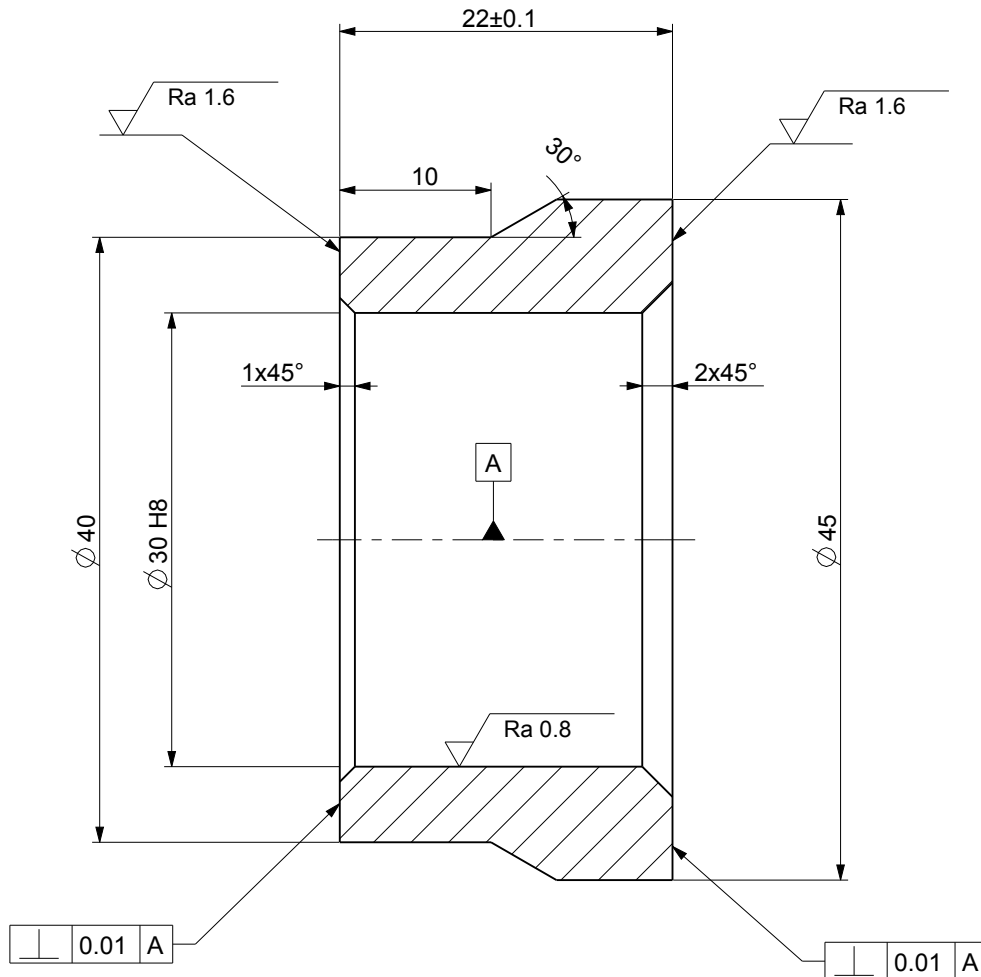


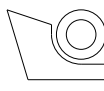
 Ra 3.2
  Ra 1.6
  Ra 0.8

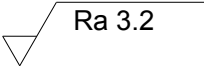
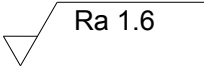
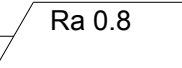


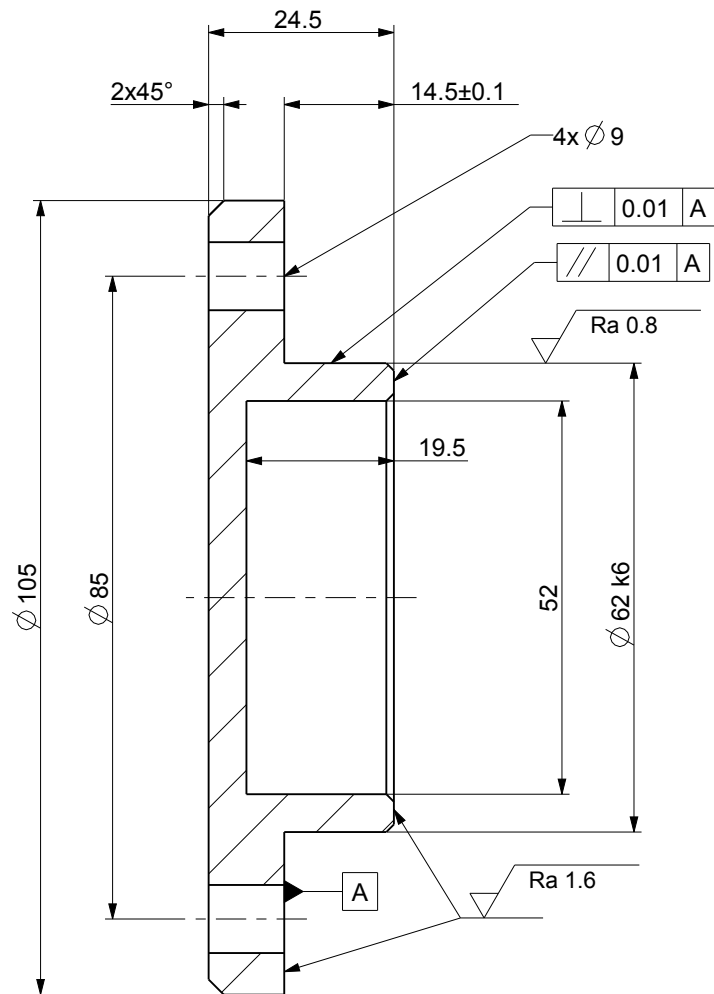
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
$\varnothing 60$ H8	+0,046 0,000				R.N. broj:	
		Napomena:			Kopija	
		Materijal: S235JRG2				
		Masa: 0.259				
		Naziv:			Pozicija:	
		Distanтни prsten 1			Format: A4	
		Mjerilo originala			Listova: 1	
		1:1			List: 1	
		Crtez broj:				
		2010-12-00				

 Ra 3.2
  Ra 1.6
  Ra 0.8


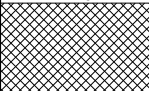
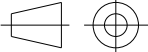


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
$\varnothing 30 \text{ H8}$	+0,033 0,000				R.N. broj:	
		Napomena:			Kopija	
		Materijal: S235JRG2				
		Masa: 0.119				
		Naziv:			Pozicija:	
		Distantni prsten 2			Format: A4	
		Mjerilo originala			Listova: 1	
		2:1			List: 1	
		Crtez broj:				
		2010-13-00				

 Ra 3.2
  Ra 1.6
  Ra 0.8



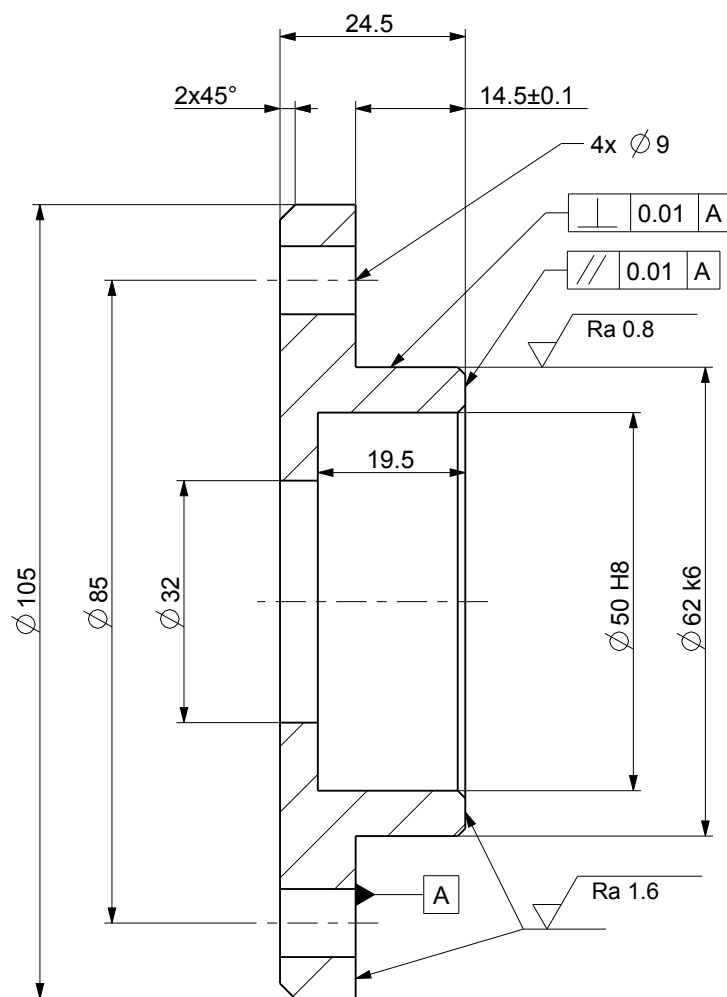
Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>	
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø 62 k6	+0,021			R.N. broj:		
	+0,002					
		Napomena:				
		Materijal: S235JRG2		Masa: 0.672		
				Naziv:		
		Mjerilo originala		Pozicija:		
		1:1		<b>Poklopac A2</b>		
				Format: A4		
				Listova: 1		
				List: 1		

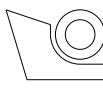
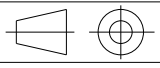
Ra 3.2

Ra 1.6

Ra 0.8



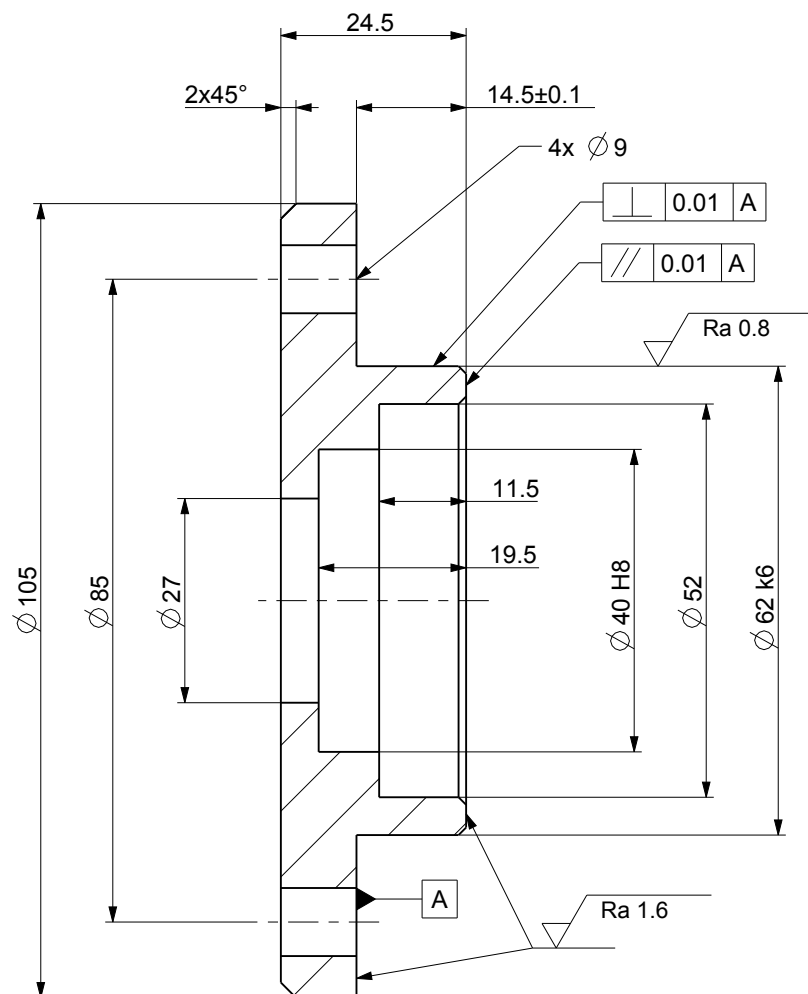
Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>	
		Projektirao	30.06.10	Renato Kolar		
		Razradio	30.06.10	Renato Kolar		
		Crtao	30.06.10	Renato Kolar		
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø 50 H8	+0,039 0,000			R.N. broj:		
Ø 62 k6	+0,021 +0,002	Napomena:				
		Materijal: S235JRG2	Masa: 0.665			
		 Mjerilo originala 1:1	Naziv:		Pozicija:	
		<b>Poklopac B2</b>			Format: A4	
		Crtez broj:			Listova: 1	
		<b>2010-08-00</b>			List: 1	

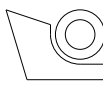
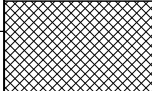
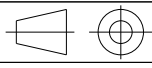
Ra 3.2

Ra 1.6

Ra 0.8



Napomena: Sva neoznacena skosenja izvesti kao 1x45°

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>	
		Projektirao	Renato Kolar			
		Razradio	Renato Kolar			
		Crtao	Renato Kolar			
		Pregledao	30.06.10			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
Ø 40 H8	+0,039 0,000				R.N. broj:	
Ø 62 k6	+0,021 +0,002	Napomena:			<div>Kopija</div> 	
		Materijal: S235JRG2		Masa: 0.704		
		 Mjerilo originala 1:1	Naziv:			Pozicija:
			Poklopac C2			Format: A4
			Crtez broj:			Listova: 1
			2010-16-00			List: 1